

HDZZ CRPA

ZBORNIK	PROCEEDINGS
RADOVA	OF THE
JEDANAESTOG	ELEVENTH
SIMPOZIJA	SYMPOSIUM OF
HRVATSKOG	THE CROATIAN
DRUŠTVA ZA	RADIATION
ZAŠTITU OD	PROTECTION
ZRAČENJA	ASSOCIATION

Urednici / Editors

**Vanja Radolić
Marina Poje Sovilj
Ines Krajcar Bronić**

**Zagreb
2017**

**Zbornik radova 11. simpozija
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA**

*Proceedings of the 11th Symposium of the
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION*

Izdavač / Published by

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION



Urednici / Editors

**Vanja Radolić
Marina Poje Sovilj
Ines Krajcar Bronić**

Tiskara / Printing House
Studio HS Internet d.o.o
Kolodvorska 139, Osijek

Naklada / Copies
150

ISSN 1849-5060

HDZZ – CRPA
Zagreb, 2017

ISSN 1849-5060

**11. SIMPOZIJ
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
s međunarodnim sudjelovanjem
Osijek, Hrvatska
5.-7. travnja 2017.**

***11th SYMPOSIUM OF THE
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION
with international participation
Osijek, Croatia
April 5-7, 2017***

Organizator / Organiser

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION**

Suorganizatori / Co-organisers

Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera, Osijek
Department of Physics, Josip Juraj Strossmayer University, Osijek

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Ruđer Bošković Institute, Zagreb

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb
State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb

Znanstveni odbor / *Scientific Committee*

Vanja Radolić
(predsjednik / *chairman*)
Dinko Babić
Zdenko Franić
Verica Garaj-Vrhovac
Hrvoje Hršak
Željka Knežević
Nevenka Kopjar
Ines Krajcar Bronić
Marija Majer
Gordana Marović
Mirta Milić
Iva Mrčela
Nevenka Novosel
Branko Petrincec
Jelena Popić Ramač
Mirjana Poropat
Denis Stanić

Organizacijski odbor / *Organising Committee*

Marina Poje Sovilj
(predsjednica / *chairwoman*)
Tomislav Bituh
Damir Borković
Željko Grahek
Ana Ivković
Mirna Jurković
Karmen Knežević
Ivana Kralik
Mario Medvedec
Igor Miklavčič
Matko Mužević
Jasminka Senčar
Marija Surić Mihić
Saša Vidaković

Pokrovitelji / Patrons

Ministarstvo znanosti i obrazovanja
Ministry of Science and Education

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike
Ministry of Environment and Energy

Ministarstvo zdravstva
Ministry of Health

Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta
Ministry of Economy, Entrepreneurship and Craft

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Osječko-baranjska županija
Osijek-Baranja County

Sponzori / Sponsors

Atlantic Grupa d.d.
Jadransko osiguranje d.d.
Pirini trade d.o.o.
Ruđer Medikol ciklotron d.o.o..
Saponia d.d.
Turistička zajednica grada Osijeka

Izlagači / Exhibitors

Canberra Packard Central Europe, G.m.b.H.
Hebe d.o.o.
LKB Vertriebs Ges.m.b.H.
Varian

Dragi članovi HDZZ-a, poštovani sudionici 11. simpozija,

Tijekom dvije godine protekle od našeg zadnjeg druženja na 10. simpoziju u Šibeniku 2015. godine, Društvo je aktivno sudjelovalo u radu zajednice europskih društava za zaštitu od zračenja, sudjelovali smo na 14. kongresu IRPA-e u Cape Townu, Južnoafrička Republika 2016. godine i na simpozijima regionalnih društava za zaštitu od zračenja i drugih srodnih društava. Zajedno s Hrvatskim društvom za biomedicinsko inženjerstvo i medicinsku fiziku suorganizirali smo 7. Alpe-Adria sastanak medicinskih fizičara u Zagrebu 2016. godine. Kao pridruženo Društvo i kao pojedinci sudjelujemo u aktivnostima IRPA-e, a imamo i predstavnika u znanstvenom odboru 5. Europskog kongresa IRPA-e u Haagu 2018. godine. Nakon ovog simpozija raspisat ćemo novi natječaj za najbolji znanstveni ili stručni rad iz područja znanosti o zračenju i zaštite od zračenja, a pobjednik će predstavljati HDZZ u natjecanju tijekom 5. europskog kongresa IRPA-e.

Rad 11. simpozija odvijat će se kroz 9 znanstveno-stručnih sekcija. Glavna tema ovog simpozija posvećena je etici i kulturi zaštite od zračenja. Tijekom protekla dva desetljeća IRPA posebnu pozornost posvećuje tim temama, kako na regionalnim i svjetskim kongresima i posebnim radionicama koje organizira, tako i na internetskoj stranici www.irpa.net. IRPA je 2004. godine prihvatila Etički kodeks (*IRPA Code of Ethics*) namijenjen članovima IRPA-e, odnosno članovima pridruženih društava za zaštitu od zračenja, kao pomoć i smjernice pri njihovom profesionalnom djelovanju u području zaštite od zračenja. Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja je na svojoj sjednici Zbora članova 29. travnja 2009. godine prihvatilo Etički kodeks IRPA-e u originalnom obliku na engleskom jeziku, te ga objavilo na svojoj internetskoj stranici www.hdzz.hr. HDZZ je tada preuzeo obvezu prijevoda na hrvatski jezik, što smo (konačno) i učinili i predložit ćemo prijevod Zboru članova HDZZ-a na usvajanje. I originalna verzija i prijedlog prijevoda dani su u sekciji ovog Zbornika).

U Zborniku se nalazi ukupno 61 rad. Objavljeni su svi u roku pristigli radovi. Radovi odražavaju stanovišta autora, a urednici su ispravili samo očite pogreške u tekstovima, te tehnički uredili i ujednačili izgled radova prema zadanom predlošku. Radovi su pisani ili na hrvatskom jeziku ili na engleskom jeziku, a svi radovi imaju i sažetke na engleskom jeziku. Kvaliteta i standard engleskog jezika odgovornost su autora jer tekstovi nisu posebno lektorirani. Radovi autora iz BiH, Crne Gore i Srbije koji nisu pisani na engleskom jeziku, ostavljeni su u originalnom jezičnom obliku. Svi sažeci na engleskom

jeziku bit će poslani nakon završetka simpozija u međunarodnu bazu INIS (*International Nuclear Information System*) koju održava IAEA (<http://www.iaea.org/inis/>) i u kojoj se već nalaze sažeci s prethodnih simpozija HDZZ-a. Kvaliteta grafičkih priloga također je odgovornost autora i u pojedinim slučajevima na nju nismo mogli utjecati. To se posebno odnosi na ilustracije koje su originalno u boji, a tisak Zbornika je u crno-bijeloj tehnici. Međutim, nakon Simpozija elektronička verzija će biti dostupna na internetskim stranicama HDZZ-a (www.hdzz.hr) te će se svi grafički prilozi moći vidjeti u originalnim bojama.

Podsjećamo da je službeno glasilo HDZZ-a znanstveno-stručni časopis *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* (<http://hrcak.srce.hr/aiht>), koji u 2015. godini ima čimbenik odjeka (*Impact Factor*) 0,971. U časopisu se redovito objavljuju informacije vezane uz rad Društva. Ovom prigodom sve sudionike 11. simpozija HDZZ-a i članove Društva pozivamo da svoje znanstvene i stručne radove objavljuju u *Arhivu* i time aktivno pridonose njegovom daljnjem napretku. Uredništvu časopisa na razmatranje se mogu poslati i radovi pripremljeni za ovaj zbornik koje, ukoliko dosad nisu objavljivani, treba urediti prema uputi autorima za objavljivanje u *Arhivu*. Radovi će biti objavljeni ukoliko prođu uobičajeni znanstvenu recenziju.

Vjerujemo da ćemo u zajedničkom druženju i razmjeni iskustava na ovom Simpoziju uspostaviti novu ili unaprijediti postojeću znanstvenu i stručnu suradnju. Organizatori zahvaljuju suorganizatorima, pokroviteljima, sponzorima i izlagačima na podršci i pomoću tijekom organizacije.

I na kraju, nadamo se da će čitatelji u ovom zborniku naći korisne informacije i poticaj za svoj znanstveni i stručni rad u području znanosti o zračenju te zaštite od zračenja. Svim sudionicima simpozija želimo uspješan rad i ugodan boravak u Osijeku.

Vanja Radolić, predsjednik ZO 11. HDZZ-a i urednik Zbornika
Marina Poje Sovilj, predsjednica OO 11. HDZZ-a i urednica Zbornika
Ines Krajcar Bronić, predsjednica HDZZ-a i urednica Zbornika
Željka Knežević, tajnica HDZZ-a

Zagreb, travanj 2017.

SADRŽAJ

CONTENTS

**Etički kodeks IRPA-e /
IRPA Code of Ethics**

IRPA Code of Ethics 3

Etički kodeks IRPA-e – prijevod na hrvatski jezik (PRIJEDLOG) 5

**Etika i kultura u zaštiti od zračenja /
Ethics and culture in radiation protection**

I. Krajcar Bronić 9
Etička načela u zaštiti od zračenja
Ethics in radiation protection

J. Popić Ramač, I. Kralik, Ž. Knežević 15
Kultura zaštite od zračenja u medicini
Radiation protection culture in medicine

Đ. Milković, M. Ranogajec-Komor 27
Etika zaštite od ionizirajućeg zračenja u pedijatrijskoj radiologiji gornjih
dišnih puteva
Radiation protection ethics in pediatric radiology of sinuses

S. Dolanski Babić 33
Što studenti Medicinskog fakulteta u Zagrebu mogu naučiti o zaštiti od
zračenja na nastavi iz fizike?
*What students of School of Medicine in Zagreb can learn about
radiation protection in physics class?*

**Opće teme /
General topics**

M. Ranogajec-Komor, Ž. Knežević 41
Aktivnosti EURADOS-a u monitoringu okoline – Novi EUROMET
projekt
*EURADOS activities in environmental monitoring – New EUROMET
project*

C. Milu	47
<i>The Romanian Society for Radiological Protection and its contribution to the transposition of the Council Directive 2013/59/EURATOM in Romania</i>	
N. Novosel	53
Preporuke i prijedlozi IRRS misije u Hrvatskoj	
<i>Recommendations and suggestions of the IRRS mission in Croatia</i>	
M. Surić Mihić, H. Hršak, I. Prlić	63
Edukacija i uvjeti za priznavanje statusa MPE u nekim zemljama EU	
<i>Education and recognition of MPE status in some EU member countries</i>	
M. Surić Mihić, H. Hršak, I. Prlić	70
Status RPE u nekim zemljama EU	
<i>RPE status in certain EU member countries</i>	
B. Mihaljević, K. Marušić	76
Implementacija znanosti o zračenju u razvoj i prijenos radijacijske tehnologije za osiguranje mikrobiološke ispravnosti različitih materijala	
<i>Implementation of radiation research in development and transfer of radiation technology for the microbiological safety assurance of various materials</i>	
A. Knapp, I. Levanat, D. Šaponja-Milutinović	82
Hrvatska namjerava preuzeti polovicu radioaktivnog otpada iz Nuklearne elektrane Krško	
<i>Croatia intends to take half of the radioactive waste from the Nuclear Power Plant Krško</i>	
Z. Franić, M. Čačković, T. Bituh, T. Meštrović	88
Iskustva akreditacije Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada na području radioekologije i dozimetrije ionizirajućeg zračenja	
<i>Experiences in accreditation of the Institute for Medical Research and Occupational Health in the area of radioecology and dosimetry of ionising radiation</i>	
M. Medvedec	94
Bespuća prevoditeljske zbiljnosti o ionizirajućem zračenju	
<i>Wastelands of translation reality of ionizing radiation</i>	

M. Medvedec	100
Unutarnji problemi s unutarnjim ozračenjem u načelu <i>Internal problems with internal exposure in principle</i>	
Zaštita od zračenja i dozimetrija u medicini / <i>Radiation protection and dosimetry in medicine</i>	
Ž. Knežević, on behalf of WG9	109
Mjerenja sekundarnog zračenja unutar dječjeg fantoma u protonskoj radioterapiji - aktivnosti unutar EURADOS radne grupe 9 (SG2) <i>Measurements of secondary radiation doses inside a paediatric anthropomorphic phantom exposed to scanning proton radiotherapy, Activities within EURADOS WG9 (SG2)</i>	
S. Miljanić, J. A. M. Santos u ime radne grupe 9 EURADOS-a	115
Periferne doze u ginekološkom brahiterapijskom tretmanu - usporedba mjerenja u fantomu i TPS - preliminarni rezultati <i>Peripheral doses in gynaecological brachytherapy treatment – in-phantom measurements versus TPS calculations – Preliminary results</i>	
A. Ivković, M. Kasabašić, M. Poje Sovilj, H. Brkić, D. Faj	121
<i>Monte Carlo model of Siemens Oncor medical linear accelerator</i>	
I. Mrčela, M. Gregov, A. Pavić Grego, T. Meštrović, M. Budanec	122
Doze zračenja od oslikavanja u radioterapiji <i>Imaging doses in radiotherapy</i>	
R. Bernat, N. Mišak, M. Vojnić Kortmiš	128
Izloženost ionizirajućem zračenju u dentalnoj medicini <i>Exposure to ionizing radiation in dentistry</i>	
Z. Mirkov, J. Nikolov, O. Ciraj-Bjelac, S. Rafajlović	134
Preliminarna ispitivanja nivoa doze za pacijente za različite tipove prijemnika slike u intraoralnoj stomatološkoj radiologiji u Republici Srbiji <i>Preliminary test level of dose for patients for various types of image receiver of intraoral dental radiology in Serbia</i>	
M. Surić Mihić, O. Vugrinec, I. Mrčela, G. Marović, J. Senčar	140
Izloženost pacijenta tijekom i nakon dijagnostike štitnjače pomoću ^{99m}Tc <i>Patient exposure during and after thyroid scintigraphy using ^{99m}Tc</i>	

Biološki učinci zračenja /
Biological effects of radiation

- M. Milić, I. Pavičić, I. Vinković Vrček, A. Selmani, D. Domazet Jurašin, T. Matijević Glavan, E. Zapletal** 149
The influence of titanium dioxide nanomaterials on human keratinocyte HaCaT cells after UVB radiation with one medial erythral dose
- M. Gerić, G. Gajski, V. Oreščanin, V. Garaj-Vrhovac** 155
The impact of sun radiation on the parameters of comet assay
- V. Kašuba, M. Milić, R. Rozgaj** 161
Sensitivity and DNA repair capacity in anesthesiologists by the alkaline comet assay, in vitro challenging assay and DNA repair genotyping
- V. Benković, A. Horvat Knežević, T. Cikač, M. Milić, N. Kopjar** 167
 Primjena mikronukleus testa na eritocitima miša u procjeni radioprotektivnih učinaka propolisa i njegovih polifenolnih sastavnica
Assessment of the radioprotective effects of propolis and its polyphenolic compounds in mice using micronucleus test in reticulocytes

Instrumentacija i mjerne tehnike /
Instrumentation and measuring techniques

- D. Glavič-Cindro, T. Petrovič, D. Brodnik, M. Vencelj, S. J. Bell, L. Keightley, S. Woods, P. De Felice, F. Cardellini, S. Neumaier** 175
MetroERM - Metrology for radiological early warning networks in Europe
- N. Marković, P. Roos, S. P. Nielsen** 182
Coincidence gamma-ray spectrometry
- I. Tucaković, I. Coha, G. Karanović** 188
 Praktična primjena matematičke kalibracije u gama spektrometriji
Practical applications of mathematical calibration in gamma-spectrometry
- B. Petrinc, T. Meštrović, M. Šoštarić** 194
 Problematika terenskih mjerenja radioaktivnosti
Issues with in-situ radioactivity measurements
- N. Todorović, J. Nikolov, I. Stojković, B. Tenjović, N. Golubovac** 200
Direct method for gross alpha beta determination in water samples by LSC

J. Nikolov, I. Krajcar Bronić, I. Stojković, N. Todorović, J. Barešić, M. Krmpotić, M. Tomić	206
<i>Comparison of two different methods for determination of biogenic fraction in liquid fuels</i>	
A. Pavić Grego, M. Gregov, I. Mrčela, M. Pajtler, M. Budanec	212
Utjecaj udaljenosti izvora od detektora na intrinzičnu uniformnost gama kamere	
<i>Effect of source to detector distance on intrinsic uniformity of gamma camera</i>	
Radioekologija/ Radioecology	
M. Osvay	221
<i>Environmental monitoring in the stratosphere</i>	
G. Pehnc, D. Babić, I. Bešlić, S. Davila, J. Senčar	225
Ozon i ^7Be u atmosferi	
<i>Ozone and ^7Be in the atmosphere</i>	
I. Krajcar Bronić, B. Breznik, A. Volčanšek, J. Barešić, D. Borković, A. Sironić, N. Horvatinčić, B. Obelić, I. Lovrenčić Mikelić	231
Aktivnosti ^{14}C u atmosferi i bilju u okolici Nuklearne elektrane Krško (NEK) – iskustva nakon 10 godina monitoringa	
<i>^{14}C activity in the atmosphere and biological samples in the vicinity of the Krško Nuclear Power Plant – 10 years of experience</i>	
R. Godec, K. Šega, M. Čačković, I. Bešlić, G. Marović, J. Senčar	238
Ugljik u lebdećim česticama i ukupna beta aktivnost u zraku	
<i>Carbon in particulate matter and total beta activity in the air</i>	
S. Davila, I. Bešlić, K. Šega	244
Upotreba ED-XRF metode za praćenje kvalitete zraka	
<i>Use of ED-XRF instruments to monitor air quality</i>	
M. Nodilo, S. Dulanská, L. Mátel, Ž. Grahek, D. Barišić	249
<i>Radioisotopes in ground soil terra rossa samples from the island of Mljet</i>	
N. B. Sarap, M. Nodilo, M. Štrok, M. M. Janković, Ž. Grahek	255
<i>Intercomparison of different methodologies for determination of radiostrontium in soil samples</i>	

I. Lukanović, M. Poje Sovilj, T. Meštrović, D. Stanić, M. Šoštarić, I. Miklavčič, D. Babić, V. Radolić, B. Petrinc	261
¹³⁷ Cs u Kopačkom ritu <i>¹³⁷Cs in Kopački Rit</i>	
D. Babić, G. Marović, M. Šoštarić, Z. Franić, B. Petrinc, J. Senčar	267
Radiotivnost mahovine pokazatelj radiološkog onečišćenja <i>Radioactivity in mosses indicator of radiological contamination</i>	
N. Gradašević, N. Mujić, D. Samek	273
Koncentracije aktivnosti ¹³⁷ Cs i ⁴⁰ K u jestivim gljivama iz Bosne i Hercegovine <i>Activity concentrations of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in edible mushroom species from Bosnia and Herzegovina</i>	
N. Gradašević, D. Samek, N. Mujić	278
Transfer faktori ²²⁶ Ra i ²³² Th u lancu tlo-vegetacija <i>Transfer factors of ²²⁶Ra and ²³²Th in chain soil-vegetation</i>	
N. Todorović, J. Nikolov, S. Bjelović, S. Lučić, I. Stojković, A. Vranić, T. Ignjić	283
<i>Radionuclides in drinking water and risk assessment</i>	
T. Bituh, D. Babić, J. Senčar, G. Marović	289
Prirodna radioaktivnost u podzemnim vodama u okolišu TE Plomin <i>Natural radioactivity of ground waters in the vicinity of the coal fired power plant „Plomin“</i>	
N. Todorović, J. Nikolov, M. Krmar, D. Mrđa, S. Todorović, P. Kuzmanović	295
<i>Assessment of natural radioactivity levels in building materials and residues in Serbia</i>	
G. Branica, Z. Franić, B. Hanžek	301
Povijesni pregled radioekoloških istraživanja na području Republike Hrvatske <i>Historical overview of radioecological investigations in the Republic of Croatia</i>	

Izloženost stanovništva zračenju / *Public Exposure*

I. Tišma, B. Petrinc, M. Poje Sovilj, M. Šoštarić, B. Vuković Brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta u Slavonskom Brodu <i>Ambient dose equivalent rate in the city of Slavonski Brod</i>	309
I. Franulović, B. Petrinc, T. Bituh, M. Kolar ¹³⁷ Cs i ⁹⁰ Sr u mlijeku osječke regije <i>¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in milk from the Osijek region</i>	315
G. Marović, S. Reljić, Z. Franić, M. Avdić, B. Skoko, Đ. Huber, J. Senčar Cezij u mesu medvjeda kao izvor doznog opterećenja ljudi u Hrvatskoj <i>Caesium in bears as a source of radiological exposure of people in Croatia</i>	321
G. Razdevšek, B. Zorko, S. Širca, J. Kožar Logar <i>Dispersion of liquid effluents from NPP in Sava river</i>	327

Radon / *Radon*

J. Nikolov, I. Stojković, N. Todorović, S. Vuković <i>Radon in water measurement – different LSC methods</i>	337
V. Udovičić, D. Maletić, A. Dragić, R. Banjanac, D. Joković, M. Savić, N. Veselinović <i>An overview of the radon research in the Institute of Physics Belgrade</i>	343
P. Jovanović <i>Measurements of unattached fraction of radon progeny in working area</i>	349
M. Müllerová, K. Holý, P. Blahušiak, M. Bulko <i>Indoor radon activity concentration in thermal spas in Slovakia</i>	355

P. Vukotić, N. Antović, A. Đurović, R. Zekić, N. Svrkota, T. Anđelić, R. Svrkota, R. Mrdak, N. Bjelica, T. Đurović, A. Dlabach, M. Bogičević	356
Procjena procenta stanova u Crnoj Gori sa koncentracijama radona iznad datog nivoa <i>Estimation of a percentage of dwellings in Montenegro with radon concentrations above a given level</i>	
G. Pantelić, J. Krneta Nikolić, M. Rajačić, M. Živanović, D. Todorović	362
<i>Radon in dwellings in Belgrade</i>	
V. Radolić, M. Poje Sovilj, D. Stanić, I. Miklavčić, B. Vuković	367
Koncentracije radona u školama i vrtićima u RH - implikacije na izradu i provedbu nacionalnog radonskog akcijskog plana <i>Radon concentrations in schools and kindergartens in Croatia – implications on design and implementation of national radon action plan</i>	
V. Radolić, M. Poje Sovilj, I. Miklavčić, D. Stanić, B. Vuković	373
Koncentracije radona u Sisačko-moslavačkoj županiji <i>Radon concentrations in Sisak-Moslavina county</i>	
Neionizirajuća zračenja / Nonionising radiation	
P. Tucak, I. Tlak Gajger, I. Žura Žaja, M. Tkalec, K. Malarić, M. Vilić	381
Učinak radiofrekvencijskog zračenja na frekvenciji od 900 Mhz na antioksidativne enzyme u ličinki medonosne pčele (<i>Apis mellifera</i>) <i>Effects of 900 MHz radiofrequency radiation on the antioxidative enzymes in larvae of honeybee (Apis mellifera)</i>	
M. Justić, I. Prlić, J. Šiško, M. Surić Mihić, M. Hajdinjak, H. Mesić	386
Mjerenje EM polja u okolini transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV <i>Measurement of EM field around the transformers station 10(20)/0.4 kV</i>	
Popis autora / Author index	391

ETIČKI KODEKS IRPA-e

IRPA CODE OF ETHICS

IRPA Code of Ethics

These principles are intended to aid members of IRPA Associate Societies in maintaining a professional level of ethical conduct related to radiation protection. They are to be regarded as guidelines. Members of Societies may use them to determine the propriety of their conduct in all relationships in which they are exercising their professional expertise. Associate Societies are encouraged to adopt or incorporate them as appropriate. If there is reason to believe that a member has breached this Code of Ethics, the Society to which the member belongs is expected to investigate and take appropriate measures.

1. Members shall exercise their professional skill and judgement to the best of their ability and carry out their responsibilities with integrity.
2. Members shall not allow conflict of interest, management pressures or possible self-interest to compromise their professional judgement and advice. In particular members shall not compromise public welfare and safety in favour of an employer's interest.
3. Members shall not undertake any employment or consultation that is contrary to the public welfare or to the law.
4. Members shall protect the confidentiality of information obtained during the course of their professional duties, provided that such protection is not in itself unethical or illegal.
5. Members shall ensure that relations with interested parties, other professionals and the general public are based on, and reflect, the highest standards of integrity, professionalism and fairness.
6. Members should satisfy themselves as to the extent and content of the professional functions required in any particular circumstances, especially those involving the public safety. Members should not undertake professional obligations that they are not qualified, or do not believe themselves to be competent, to carry out.

7. Members should take all reasonable steps to ensure that persons carrying out work done under their supervision or direction are competent, and not under undue pressure from workload or other causes.
8. Members should strive to improve their own professional knowledge, skill and competence.
9. Professional reports, statements, publications or advice produced by members should be based on sound radiation protection principles and science, be accurate to the best of their knowledge and be appropriately attributed.
10. Members should, whenever practicable and appropriate, correct misleading, sensational and unwarranted statements by others concerning radiation and radiation protection.
11. Members should take advantage of opportunities to increase public understanding of radiation protection and of the aims and objectives of IRPA and their own Society.

IRPA. May 2004

Etički kodeks IRPA-e

(prijedlog prijevoda)

Ova etička načela su namijenjena članovima društava za zaštitu od zračenja, koja su pridružena Međunarodnoj udruzi za zaštitu od zračenja (International Radiation Protection Association, IRPA) glede održavanja profesionalne razine etičkog ponašanja a u vezi sa zaštitom od zračenja. Načela se trebaju smatrati smjernicama. Članovi društava mogu ih koristiti kako bi utvrdili ispravnost svoga ponašanja u svim odnosima u kojima ostvaruju stručnu djelatnost. Pridružena društva se pozivaju da ih usvoje ili ugrade prema potrebi. Ako postoji razlog da se vjeruje da je član prekršio Etički kodeks, očekuje se da će društvo istražiti i poduzeti odgovarajuće mjere.

1. Članovi će koristiti svoje stručno znanje i procjenu na najbolji mogući način i odgovorno obavljati svoje dužnosti.
2. Članovi neće dopustiti da sukob interesa, pritisak uprave ili vlastiti interes utječu na profesionalnu prosudbu i davanje savjeta. Članovi posebice neće ugroziti javnu dobrobit i sigurnost u korist interesa poslodavca.
3. Članovi neće preuzimati poslove ili savjetovanja koji su u suprotnosti s javnom dobrobiti ili zakonom.
4. Članovi će štititi povjerljivost informacija dobivenih tijekom obavljanja svojih profesionalnih dužnosti, pod uvjetom da takva zaštita nije sama po sebi nemoralna ili nezakonita.
5. Članovi će osigurati da se odnosi sa zainteresiranim stranama, drugim stručnjacima i širom javnosti temelje na najvišim standardima profesionalne odgovornosti i poštenja.
6. Članovi se trebaju uvjeriti o opsegu i sadržaju stručnih funkcija potrebnih u određenim okolnostima, a posebno o onima koje se odnose na javnu sigurnost. Članovi ne bi trebali prihvatiti profesionalne obveze ako nisu kvalificirani ili ne vjeruju da su kompetentni za njihovu provedbu.

7. Članovi trebaju poduzeti sve razumne korake kako bi se uvjerali da su osobe koje obavljaju posao pod njihovim nadzorom ili upravom kompetentne, te da nisu pod pritiskom prekomjernog radnog opterećenja ili pod nekim drugim pritiscima.
8. Članovi trebaju trajno poboljšavati svoje stručno znanje, vještine i sposobnosti.
9. Stručna izvješća, izjave, publikacije ili preporuke koje objavljuju članovi trebaju se temeljiti na načelima zaštite od zračenja i znanosti, biti napisana točno prema znanju i sposobnosti, te citirana na odgovarajući način.
10. Članovi trebaju, kad god je to moguće i prikladno, ispravljati krive, senzacionalističke te neopravdane izjave koje se tiču zračenja i zaštite od zračenja.
11. Članovi trebaju iskoristiti svaku priliku za informiranje javnosti te poboljšavanje razumijevanja javnosti o zaštiti od zračenja, kao i o svrsi i ciljevima IRPA-e i vlastitog društva.

IRPA, svibnja 2004.

Prijevod: HDZZ, travnja 2017.

**ETIKA I KULTURA U
ZAŠTITI OD ZRAČENJA**

***ETHICS AND CULTURE IN
RADIATION PROTECTION***

ETIČKA NAČELA U ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Ines Krajcar Bronić
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
krajcar@irb.hr

UVOD

Pojam *etika* često se koristi u svakodnevnom i profesionalnom životu, ali ga nije lako definirati. Često se koristi kao istoznačnica za *moral*. Riječ *etika* nastala je od grčke riječi ἦθος *ethos* – običaj, karakter, ponašanje, vladanje [1]. *Ethica* je latinizirana verzija grčke riječi, a Ciceron ju je preveo na latinski kao *mores* (običaji, vladanje). Od te riječi je nastala riječ *moral*.

Ipak, etika nije isto što i moral. Moral je u najširem smislu skup nepisanih pravila, običaja, navika i normi koji su prihvaćeni u životu neke društvene zajednice i predstavlja sustav predodžbi o dobru i zlu. Etika je pak znanost o moralu i moralnim načelima, filozofija morala, jedna od osnovnih filozofskih disciplina [1,2]. Pojednostavljeno, moral odgovara na pitanje što treba činiti, a etika zašto treba nešto činiti. U praksi i svakodnevnom životu pojmovi etika i moral su nerazdvojni pojmovi i često se preklapaju.

Etika je filozofska disciplina koja se bavi istraživanjem vrijednosti *dobro* [2], tj. onim što je dobro ili loše, što je moralna dužnost i obaveza, koja traga za ispravnom odlukom i za ispravnim djelovanjem, a ispravna odluka je odluka koja se može opravdati i iza koje odgovorno stojimo [1]. To je skup ili sustav moralnih vrijednosti i načela koja određuju ponašanje pojedinca ili grupe [2]. Često se govori o profesionalnoj etici, liječničkoj etici ili znanstvenoj etici [3].

U ovom će radu biti prikazane etičke osnove sustava zaštite od zračenja koje su razvijene u suradnji međunarodnih organizacija IRPA (*International Radiation Protection Association*) [4] i ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) [5]. Ovaj se zasniva na dokumentu ICRP-a [6] o etičkim temeljima sustava zaštite od zračenja.

RAZVOJ ETIČKIH OSNOVA SUSTAVA RADIOLOŠKE ZAŠTITE

U prvim godinama nakon otkrića radioaktivnosti i primjene zračenja u medicini te prvih znanstvenih spoznaja o mogućim štetnim (determinističkim) učincima zračenja, može se uočiti relativno jednostavan etički princip *ne činiti loše* (engl. *do not harm*), tj. nastojati izbjegavati štetne učinke zračenja i koristiti mjere zaštite. Nove znanstvene spoznaje o

stohastičkim učincima zračenja dovele su i do razvoja zaštite od zračenja i proširenja primjene zaštite na sve profesionalno izložene osobe. Razvojem nuklearne energetike i drugih tehnologija koje koriste zračenja, sustav zaštite od zračenja uvodi i zaštitu javnosti (opće populacije) i načelo da svako izlaganje zračenju mora biti na najnižoj razini doze. Uzimajući u obzir mogućnost stohastičkih učinaka zračenja, princip *ne činiti loše* postupno prerasta u upravljanje rizikom, odnosno upravljanje vjerojatnostima da se *loše* dogodi. Sustav zaštite od zračenja proširio se od zaštite ljudi na zaštitu drugih vrsta (*non-human species*) i okoliša, zasnivajući se na principima održivog razvoja, očuvanja, zaštite biološke raznolikosti i ljudskog dostojanstva.

Da zaštita od zračenja ne može biti zasnovana samo na znanstvenim spoznajama, nego mora uključivati i druge dimenzije (etičku, socijalnu) poznato je još od 1956. godine [6,7]. Tadašnji predsjednik ICRP-a L. Taylor izjavio je „*Radiation protection is not only a matter for science. It is a problem of philosophy, and morality, and the utmost wisdom*“ (Zaštita od zračenja nije samo stvar znanosti. To je i problem filozofije i moralnosti i najveće razboritosti). U godinama koje su slijedile ipak se puno više pozornosti poklanjalo znanosti i iskustvu, a malo etičkim vrijednostima, iako su one implicitno bile ugrađene u iskustvena i znanstvena razmatranja. Početkom 1990-ih godina počinje se ponovno eksplicitno govoriti o etičkoj dimenziji zaštite od zračenja. Pojavljuju se razmišljanja da etička načela zaštite od zračenja moraju uključiti tri osnovna dijela etike: individualna prava pojedinca, kolektivni interes, te razvoj razboritosti i mudrosti. U novije vrijeme etičke teorije i pristupi uključuju cijeli ekosistem [6].

U tradicionalni pristup zaštiti od zračenja zasnovan na znanosti unose se ljudske, socijalne i etičke dimenzije, te bolja komunikaciju s javnošću. Sve to čini kulturu zaštite od zračenja, temu koja je u posljednjih 10-15 godina jako aktualna, a detaljno je obrađena u ovom Zborniku [8].

SUVREMENI SUSTAV RADIOLOŠKE ZAŠTITE

Suvremeni sustav radiološke zaštite, ili zaštite od zračenja, zasniva se na tri osnovna stupa [6]: 1 – znanost, odnosno znanstvene spoznaje iz različitih grana znanosti, koje nam pomaže razumjeti kako zračenje utječe na ljude i okoliš, 2 – etičke vrijednosti, na kojima se temelje odluke o zaštiti, 3 – iskustvo, koja nas uči što je praktično i moguće u primjeni. Uveden je koncept okolnosti izloženosti zračenju: planirana, postojeća i izvanredna situacija (engl. *planned, existing and emergency exposure situation*) te kategorija koja je izložena zračenju: profesionalci, javnost,

pacijenti i okoliš. Za svaku kombinaciju okolnosti i kategorije vrijede isti osnovni principi zaštite od zračenja: opravdanost – jesu li opravdane okolnosti za izlaganje zračenju, jesu li koristi veće od mogućih rizika; optimizacija – je li izloženost razumno niska u danim okolnostima; ograničenje doze – je li primljena doza koju primi pojedinac prihvatljiva i dozvoljena [6].

Etička načela su podloga cijelog sustava zaštite od zračenja (Slika 1).

- činiti dobro /ne činiti loše – koristi zbog primjene zračenja moraju se usporediti s mogućim štetnim posljedicama; ključno pitanje je kako mjeriti ili procijeniti koristi, štete i rizike;
- razumnost/oprez – sposobnost odlučivanja na osnovi dostupnih informacija i ponuđenih mogućnosti izbora, a pri tome ne znati sve posljedice odluke; razumnost je potrebna jer iako je sustav zaštite zasnovan na znanstvenim spoznajama, uvijek postoje nepouzdanosti i nesigurnosti; posebnu važnost ima kod malih doza zračenja;
- pravičnost – pravična/pravedna/poštena raspodjela prednosti i nedostataka među različitim grupama ljudi, pravičnost u pravilima i postupcima odlučivanja; odnosi se npr. na ograničenja individualnih doza u planiranim situacijama, i na referentne nivoe doza u postojećim i izvanrednim situacijama, te na prijenos znanja na sve dionike sustava;
- dostojanstvo – prema svakoj individualnoj osobi treba se odnositi s bezuvjetnim poštovanjem bez obzira na dob, spol, zdravstveni status, socijalni položaj, nacionalnost, religiju ili neku drugu karakteristiku, a posljedica je univerzalnih ljudskih prava [9]; posljedica ovog načela je da svaka osoba može donositi odluke na osnovi predloženih informacija; u medicini poznato kao „informirani pristanak“.



Slika 1. Sustav zaštite od zračenja: etičke vrijednosti čine osnovu za razvoj principa zaštite od zračenja, a ti principi čine smjernice za postupke implementacije sustava u praksi (prema Fig. 1 u [6])

ETIČKA NAČELA IRPA-e i ICRP-a

IRPA je u svibnju 2004. godine prihvatila Etički kodeks (*IRPA Code of Ethics*, [10]), kojeg je 2008. prihvatilo i Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja [11]. Ta su načela namijenjena članovima IRPA-e, odnosno članovima pridruženih društava za zaštitu od zračenja, kao pomoć i smjernice pri profesionalnom djelovanju u području zaštite od zračenja. Etički kodeks IRPA-e ima 11 načela, koja se mogu ukratko opisati kao djelovanje u skladu s načelima zaštite od zračenja i znanstvenim spoznajama, korištenje znanja i donošenje procjena i odluka u skladu s najvišim profesionalnim standardima, izbjegavanje sukoba interesa i ugrožavanja javne dobrobiti i sigurnosti, zaštita povjerljivih informacija (ako to nije nemoralno ili nezakonito), kompetentnost, neovisnost, stalno osposobljavanje, izbjegavanje senzacionalizma i ispravljanje netočnih navoda, te komunikacija s javnošću i stalan i uporan rad na jačanju razumijevanja javnosti o zaštiti od zračenja.

ICRP je prihvatio etička načela 2014. godine [12]. U njima se ističe da u razvoju preporuka i smjernica u zaštiti od zračenja ICRP prati napredak znanstvenih spoznaja, razvija društvene vrijednosti i praktično iskustvo. Osnovni elementi etičkog djelovanja prema ICRP-u su:

- posvećenost javnoj dobrobiti – ICRP djeluje kako bi se zaštitili ljudi i okoliš od štetnih učinaka zračenja, a pri tome ne ograničavajući korisne primjene zračenja;
- neovisnost – ICRP djeluje neovisno o vladama i organizacijama, uključujući industriju i ostale korisnike zračenja;
- nepristranost – ICRP djeluje nepristrano u razvoju preporuka i smjernica, imajući u vidu dobrobit ljudi i okoliša, ne pogodujući bilo kakvim drugim komercijalnim ili osobnim interesima;
- transparentnost – ICRP uključuje razne dionike u proces odlučivanja i izdavanja preporuka, te ulaže napore da sva djelovanja, odluke i procjene budu jasno vidljivi i obrazloženi;
- odgovornost – ICRP odgovorno upravlja financijama i usmjerava aktivnosti na dobrobit javnosti te odgovara javnosti za svoja djelovanja.

IRPA i ICRP sve češće organiziraju posebne skupove ili radionice posvećene etičkim vrijednostima u sustavu zaštite od zračenja. Na posljednjem kongresu IRPA-e, koji je održan 2016. godine u Cape Townu, održana je posebna sekcija *Policy, Standards and Culture* koja je uključivala izlaganja i plenarnu sekciju o etici, sigurnosnim aspektima, obrazovanju i kulturi zaštite od zračenja [13,14]. Međutim, i kroz sve druge sekcije i panel diskusije kongresa provlačila se tema etike i kulture zaštite

od zračenja. Nove tehnologije zasnovane na radijaciji omogućavaju različite nove mogućnosti primjene, ali predstavljaju i velik izazov svima koji ih koriste. Nužna je dobra i široka edukacija i stalno usavršavanje i razmjena znanja i iskustava.

ZAKLJUČAK

Bolje razumijevanje etičkih načela i principa zaštite od zračenja može pomoći pojedincima i društvu da uspješno rješavaju probleme ili konflikte u procesu odlučivanja. Etika može pomoći u usklađivanju dobrobiti pojedinca, održivog razvoja društva i zaštite okoliša. Kultura i etika zaštite od zračenja moraju biti integralni dio svih sustava upravljanja zaštitom od zračenja.

LITERATURA

- [1] Čulina Lj. Etika – filozofska disciplina. http://www.skole.hr/ucenici/ss?news_id=1842 .
- [2] Porobija Ž. Etika (skripta). **Adventističko teološko visoko učilište**, Maruševac. <http://atvu.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/01/01Etika-udzbenik2012NOVO.pdf> .
- [3] Marasović I. Znanstvena etika i zlouporaba znanstvenih podataka. U: Odgovornost za život, Zbornik, Baška Voda, 1999, 143-145.
- [4] IRPA – International Radiation Protection Association. <http://www.irpa.net>
- [5] ICRP – International Commission on Radiological Protection. <http://www.icrp.org/>
- [6] ICRP. Annals of the ICRP. Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. Draft. dostupno na: http://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/89_News/02_Dokumente/Ethical_Foundations_of_the_System_of_Radiological_Protection_-_DRAFT_for_.pdf
- [7] Taylor L. The philosophy underlying radiation protection. Am. J. Roent. 1977;77:914-919.
- [8] Popić Ramač J, Kralik I, Knežević Ž. Kultura zaštite od zračenja u medicini. ovaj Zbornik
- [9] United Nations. 1948. The universal declaration of human rights. http://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR_Translations/eng.pdf
- [10] IRPA Code of Ethics. http://www.irpa.net/members/IRPA_Code_of_Ethics.pdf
- [11] HDZZ – Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja. www.hdzz.hr
- [12] ICRP Code of Ethics. http://www.icrp.org/docs/ICRP_Code_of_Ethics.pdf
- [13] IRPA-14 Congres, Cape Town, Republika Južna Afrika, 9. – 13.5.2016. <http://www.irpa2016capetown.org.za/ScientificProgramme/IRPA14Programme-Web.pdf>
- [14] Krajcar Bronić I. 14. IRPA kongres. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju 2016;67:A18-A21.

ETHICS IN RADIATION PROTECTION

Ines Krajcar Bronić

Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

krajcar@irb.hr

Ethics or moral philosophy is a branch of philosophy that deals with concepts of right and wrong conduct. It is also a set of principles of conduct governing an individual or a group (professional ethics). This paper presents ethical values underpinning the radiation protection systems. The paper is based on the ICRP (International Commission on Radiological Protection) publication *Annals of the ICRP. Ethical Foundations of the System of Radiological Protection* published 2016 on-line as a Draft for consultation.

The modern system of radiation protection is based on three pillars (according to ICRP): scientific knowledge that help us understand how radiation affects people and the environment, ethical values that guide decisions about protection, and experience that teaches us what is practical in implementation. The simple principle *do not harm* from early days of radiation application developed to ethical theories that include not only humans but also the whole ecosystem.

Over past two decades both ICRP and IRPA have dedicated a significant effort to define ethical values (beneficence/non-maleficence, prudence, justice, dignity) underpinning the basic principles of the system of radiological protection (justification, optimization and dose limitation).

IRPA Code of Ethics was adopted in 2004. It contains principles that should be regarded as guidelines to the members of IRPA and its associated societies in maintaining a professional level of ethical conduct related to radiation protection.

ICRP Code of Ethics (approved in 2014) comprises expectations from its members in the development of recommendations and guidance: commitment to public benefit, by acting to protect humans and the environment from the harmful effects of radiation, independence in actions while being impartial, transparent and accountable.

A clear understanding of ethical values and related radiation protection principles can help individuals and societies to address issues emerging in decision-making.

KULTURA ZAŠTITE OD ZRAČENJA U MEDICINI

Jelena Popić Ramač¹, Ivana Kralik² i Željka Knežević³

¹Klinička bolnica Merkur/Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

²Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb

³Institut Ruđer Bošković, Zagreb

jelena.popic.ramac@gmail.com

UVOD

Kultura zaštite od zračenja je sustav trajno prihvaćenih ideja, vjerovanja i običaja koji se šire u društvu, a odnose se na zaštitu od zračenja. U užem smislu taj koncept odnosi se na kombinaciju običaja i znanja o zaštiti od zračenja vezanih uz radnike, pacijente, ukupnu populaciju i okoliš te uz sve situacije izloženosti. Uspostavu i razvoj kulture zaštite od zračenja u medicini su kao strateški važan koncept za iduće desetljeće prepoznale sve velike međunarodne organizacije (*World Health Organization* – WHO, *International Radiation Protection Association* – IRPA, i *International Organization for Medical Physics* – IOMP).

Na nekoliko organiziranih međunarodnih radionica definirani su opći strateški ciljevi za ovo važno područje, a koje valja prilagoditi nacionalnim kulturološkim značajkama i lokalnim specifičnostima i potrebama.

U početnom stupnju razvoja koncepta kulture zaštite od zračenja nužno je ponajprije utvrditi razliku između termina „kultura zaštite od zračenja“ (engl. *radiation safety culture*) i „sigurnosna kultura“ (engl. *safety culture*). Ovisno o području i državi radiološka je sigurnost uključena ili u opću sigurnosnu kulturu ili je zaseban koncept. No ta dva pristupa su u osnovi sukladna. Jedina je razlika u povijesnoj pozadini. Primjerice, termin sigurnost se rabi u industriji, nuklearnoj, radiološkoj i okolišnoj sigurnosti. Suprotno tomu u medicini zaštita od zračenja profesionalnog osoblja i pacijenata je prioritetni termin. Zaštita se fokusira na ljude i ponašanja (kulturu) kako bi se izbjegli nepoželjni događaji za osoblje i korisnike, kada se radi s opasnom opremom. Moramo biti svjesni činjenice da medicinski i bolnički sektor nije blizak s terminom „sigurnost“ budući da on većinom pripada industriji.

U vrijeme velikog napretka korištenja ionizirajućeg zračenja u medicini te ponovnog oživljavanja nuklearne industrije zaštita od zračenja se suočava s izazovom širenja kulture zaštite od zračenja (ZOZ) diljem svijeta.

Postavljanje zaštite od zračenja u kulturološko okružje unutar organizacija najučinkovitiji je način da bi se:

- Uvidjeli znanstveni principi i vrijednosti ZOZ-a
- Promicala svijest o rizicima od zračenja
- Promicala podjela odgovornosti između liječnika, tehnologa, voditelja i regulatora
- Čuvalo do sada stečeno znanje i prakse ZOZ-a
- Olakšalo širenje znanja
- Unaprijedila kvaliteta i učinkovitost ZOZ-a.

Program kulture ZOZ-a bi trebao utjecati na sve koji su na radnom mjestu izloženi ionizirajućem zračenju, uključujući eksperte za ZOZ, upravljačke strukture na svim razinama i ugovaratelje usluga. IRPA svojim programom utječe na razvoj kulture ZOZ-a putem pridruženih nacionalnih društava. Profesionalno osoblje koje se bavi ZOZ-om moralo bi preuzeti najteže zadatke i vodeću ulogu u tom programu i biti indirektno vodstvo svojim kolegama koji se ne bave ZOZ-om, a koji su u mnogim slučajevima njihovi nadređeni.

Svrha uspostavljanja principa kulture zaštite od zračenja je zadržati mišljenja i stavove profesionalaca koji se bave zaštitom od zračenja na najvažnijim komponentama kulture zaštite od zračenja.

ELEMENTI I ZNAČAJKE KULTURE ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Kultura je trajno naučen sustav znanja i ekspertiza koji obilježava kontinuitet kroz podučavanje i prenošenje znanja novim generacijama. Ona je modelirana na bazičnim pretpostavkama i kulturološkim paradigmama društva. Pri podučavanju novih članova društva kultura ima stabilizirajuću ulogu, a osnovne kulturološke pretpostavke stabiliziraju grupu.

Organizacijska kultura je model bazičnih pretpostavaka koje je pronašla i razvila grupa koja je rješavala i zajednički uspješno riješila važne probleme te promatrala učinke različitih rješenja. Ukoliko su rješenja bila učinkovita smatrat će se vrijednima. Tada se prihvaćaju te se prenose na nove članove grupe što u konačnici obogaćuje kulturu. Što dulje živimo u danoj kulturi i što je ona starija, to više utječe na naša razmišljanja i osjećaje.

Prema IRPA diskusijama glavni su izvori utjecaja na kulturu:

1. vjerovanja, vrijednosti i pretpostavke osnivača organizacije
2. naučena iskustva članova grupe kroz razvoj organizacije
3. vjerovanja, vrijednosti i pretpostavke koja unose novi članovi i lideri.

Kultura ZOZ-a je kombinacija znanosti, vrijednosti, etičnosti i iskustva. Principi kulture ZOZ-a uključuju dobro uspostavljene principe

opravdanosti, optimizacije i ograničenja doze, ali uključuju podjelu ovlasti obukom i učenjem.

Upotreba ionizirajućeg zračenja može se podijeliti na: medicinsku, industrijsku i znanstvenu. Međutim, vezano za principe ZOZ-a ne postoje razlike među područjima. U svakom polju se kultura ZOZ-a može definirati kao kombinacija navika i znanja o ZOZ-u u svim aspektima za: radnike, pacijente, populaciju, okoliš te za sve situacije izloženosti, ona je spoj znanstvene i socijalne dimenzije.

Bez obzira na kulturološke različitosti i specifičan kulturološki kontekst svi profesionalci širom svijeta trebaju dijeliti osnovne zajedničke stavove brige za ljude i okoliš nužne za održivu budućnost.

RAZVOJ KULTURE ZAŠTITE OD ZRAČENJA I KRITERIJI USPJEHA

Moguće je definirati nekoliko stupnjeva razvoja kulture zaštite od zračenja. Jedan od modela imao bi tri stupnja:

Stupanj 1: Osnovni sustav – programi osposobljavanja iz sigurnosti, uvjeti rada, postupci i proces poštivanja propisa – Pasivno poštivanje.

Stupanj 2: Sebi-orientirani sustav – radnici osiguravaju poštivanje sustava i preuzimaju osobnu odgovornost za osposobljavanje i druge propise – Aktivno poštivanje

Stupanj 3: Sigurnosni sustav ponašanja – učenje pojedinaca da opaze opasnosti, fokusiraju se na potencijalnu štetu i sigurno ponašanje koje može spriječiti događaj. Taj sustav zahtijeva međuovisnost među svim razinama koje paze na međusobnu sigurnost.

U Tablici 1 prikazan je višeslojni pristup razvoju kulture, s osobinama različitih vrsta kultura zaštita od zračenja

Uspješna uspostava pozitivne kulture zaštite od zračenja zahtijeva zajedničke napore cijele organizacijske strukture od vrha do dna. Ti se naponi razlikuju ovisno o otkrivanju problema unutar programa ZOZ-a. U prvom redu potrebno je uspostaviti pravila i propise, uspostaviti i održati edukaciju te poticati pozitivno ponašanje.

Četiri su moguća načina utjecanja na kulturu ZOZ-a:

1. Jako vodstvo koje je fokusirano na ZOZ i koje stvara i potiče treniranje ponašanja u ZOZ-u
2. Edukacija i vježbe svih uključenih u ZOZ
3. Stvaranje pozitivnoga sigurnosnog okruženja na radnim mjestima
4. Uspostava primjerene komunikacije među profesionalcima uključenim u ZOZ.

Tablica 1. Višeslojni pristup razvoju kulture zaštite od zračenja.

Status kultura				
<i>Patološka</i>	<i>Reaktivna</i>	<i>Kalkulirajuća</i>	<i>Proaktivna</i>	<i>Generativna</i>
Usuglašenost, ali ništa više	Briga zbog troškova	Fokus na trenutnim problemima	Mjerila i prilagodba	Mjerila i uključivanje svih organizacijskih razina
Provjera nakon nezgode	Briga zbog troškova	Redovite provjere poznatih opasnih područja	Provjere su pozitivne i pomažu	Kontinuirana neslužbena potraga za neočitim problemima
Bez sigurnosnog planiranja	Planiranje obuke temeljeno na pitanjima iz prošlosti	Naglasak na analizi opasnosti	Planiranje je standardna praksa	Planiranje utemeljeno na predviđanju problema i reviziji postupaka
Obuka je nužno zlo	Obuka kao posljedica nezgode	Testiranje znanja	Kontinuirane procjene obuke na radnom mjestu	Razvoj je proces, a ne događaj
Kazna za neuspjeh	Opomene za slabu izvedbu	Pohvale za sigurno ponašanje	Nešto nagrada za sigurno ponašanje	Dobro sigurno ponašanje je nagrada sama po sebi
Otpuštanje zaposlenika nakon nezgode	Izvještaji o nezgodama se ne prosljeđuju	Uprava "poludi" kada sazna za nezgodu	Razočaranje uprave u slučaju nezgode	Vrh uprave je na terenu da bi se uvjerio da su radnici u redu nakon nezgode
Sigurnost je trošak	Preventivno održavanje se može priuštiti	Žongliranje sigurnošću i profitabilnošću	Sigurnost je skoro jednako vrijedna profitu	Sigurno okruženje donosi zaradu

Kao prvi korak uspostave kulture ZOZ-a pretpostavlja se uspostava trajne izobrazbe, dostupnost multimedijalnih pomagala (e-učenje, igrice) te primjerena komunikacija među djelatnicima, voditeljima, pacijentima i javnosti.

CILJEVI ORGANIZACIJE:

- Uvjeriti se da se na sigurnost gleda kao na važnu stvar ne samo kao na riječ
- Aktivno sudjelovanje u programima sigurnosti (engl. image gently, image wisely) i poticanje šire zajednice na uključivanja u takve programe
- Prepoznavanje dobre prakse i uključivanje ZOZ-a u dio svakodnevice od vrha do dna organizacije
- Pozitivna penalizacija, pozitivne inspekcije ako nema incidenta i ako se postigne smanjenje doze
- Poticanje vježbi u ZOZ-u za vrijeme radnog vremena te poticanje odlazaka na radionice i konferencije na istu temu
- Netolerancija prema lošem ponašanju i aktivna potpora osoblju ZOZ-a koje dobro radi posao
- Ne dopustiti politički utjecaj na ZOZ
- Jasna, sažeta i glasna politika koja jača poštivanje sigurnosnih karakteristika
- Promocija zdravlja korištenjem adekvatne opreme te primjereno uvježbanim osobljem
- Poticanje certificiranja ustanova i djelatnika, naprednih stupnjeva i drugih kvalifikacija u ZOZ-a
- Sudjelovanje u donošenju smjernica preko nacionalnih i internacionalnih tijela.

DODATNI CILJEVI U POLJU MEDICINE:

- Korištenje alternativnih neionizirajućih metoda osobito u djece
- Akreditacije medicinske opreme – ALARA princip
- Smanjenje doza – posebice u praćenju pacijenata te osobito u služenju CT-om
- Sudjelovanje u nacionalnim i internacionalnim registrima doza
- Zahtijevanje kliničkoga unutarnjeg i vanjskog audita
- Poticanje medicinskih inspekcija na evaluaciju statusa ZOZ-a u radioterapiji, radiologiji i nuklearnoj medicini.
- Ponuditi javni pristup rezultatima ZOZ-a preko mrežnih stranica da bi se javnost bolje uključila
- Razviti bolje metode slušanja javnoga mijenja o zabrinutostima vezanim uz ZOZ
- Skupljati sugestije sa sastanaka i mjeriti stupanj zadovoljstva
- Osobito paziti na primjenu „*IRPA Code of Ethics by professionals*“
- Poticati vodstvo na traženje pomoći u novim i nepoznatim situacijama vezanim za ZOZ

- Poticati na iznošenje grešaka bez kažnjavanja kako bi se na lošem primjeru učilo
- Imati zajednički jezik u pisanoj i usmenoj komunikaciji uključujući i upute o ZOZ-u.

PROCJENA KULTURE ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Procjena kulture zaštite od zračenja se usredotočuje na prepoznavanje optimalnih alata potrebnih za procjenu razine i kvalitete kulture zaštite od zračenja unutar organizacije. Kriteriji ocjene su elementi koje treba procijeniti da bi se prepoznali problemi koji sprečavaju napredak kulture zaštite od zračenja ili samo da bi se procijenila razina kulture u danoj situaciji. Procjena kulture zaštite od zračenja može se obavljati na više načina: koristeći kombinaciju kvalitativnih i kvantitativnih alata da se ne bi samo izmjerili identificirani kriteriji uspjeha, nego da bi se potakle procjene i opažanja o pozitivnim i negativnim trendovima ili čak da bi se kriteriji modificirali imajući u vidu procjenu trendova i napretka kulture zaštite od zračenja. Imajući na umu područja korištenja zaštite od zračenja i načine na koje se može utjecati na zaštitu od zračenja moguće je identificirati niz alata kao točna i ispravna sredstva mjerenja i procjene razine uspjeha u uspostavljanju i razvoju kulture zaštite od zračenja.

Organizacijski sustav za praćenje sigurnosti zahtijeva osiguravanje kvalitete putem interne provjere zaštite od zračenja, šire inspekcije i provjere te obveznih periodičkih ispitivanja opreme koja mora zadovoljavati međunarodne standarde, a sve to u izvedbi sposobnih pojedinaca. Obavlja se analiza svih nezgoda vezanih uz zračenje i rezultati svih periodičkih provjera bi trebali biti dostupni svim zaposlenicima. Unutarnja i vanjska identifikacija svih problema mora biti trenutna, točna i detaljna sa svim informacijama dostupnim zahvaćenim područjima. Nedostaci se moraju žurno obraditi uz periodičku unutarnju i vanjsku identifikaciju nedostataka. Ponavljajući problemi i postotak vanjskih nedostataka se moraju redovito identificirati. Program procjene kultura zaštite od zračenja na lokalnoj bi razini mogao osigurati na primjer:

- Formaliziranu proceduru koja bi osigurala da su radnici u trenutku zapošljavanja upoznati s principima zaštite od zračenja. Mjerljiv indikator bi mogao biti broj radnika na inicijalnom osposobljavanju zaštite od zračenja;
- Provjeru postojanja interne procedure obnavljanja i osvježavanja tečaja i osposobljavanja radnika i zaposlenika. Kao alat procjene razine kulture zaštite od zračenja može poslužiti broj zaposlenika na

osposobljavanju te njihovo aktivno sudjelovanje procijenjeno po broju sugestija, kritičkih procjena i mišljenja;

- Formalno uspostavljanje pozicije „stručnjaka za zaštitu od zračenja“ čija bi odgovornost uključivala poučavanje i osvježavanje teorijskog i praktičnog znanja, periodičku procjenu učinkovitosti osposobljavanja i ostala zaduženja vezana uz zaštitu od zračenja;
- Formalne rutinske upitnike i samo-procjene kojima bi se procijenila kultura zaštite od zračenja zaposlenika
- U području medicine, nasumične provjere kulture zaštite od zračenja putem upitnika koje ispunjavaju pacijenti;
- Uključivanje osobnih intervjuu zaposlenika i stručnjaka u zaštiti od zračenja u proces edukacije i osposobljavanja te kao sredstvo evaluacije njihova stvarnog shvaćanja problematike te prikupljanja njihovih sugestija i mišljenja;
- Formaliziranu metodu prihvatanja (uz tečajeve i osposobljavanja) analize te, kad je prikladno, implementacije prijedloga i ideja (npr. kutija za ostavljanje prijedloga) zaposlenika;
- Provjeru postojanja politike „bez okrivljavanja“ za izvješćivanje te praćenje grešaka i neuspjeha na otvoren i konstruktivan način.
- Uspostavljanje takvog pristupa uz podršku nezavisnog vanjskog revizora ukoliko isti već nije uspostavljen.

Naposljetku, na razini trećih stranaka uključenih u opskrbu opremom za zaštitu od zračenja, mogu biti korišteni sljedeći alati:

- Mjerenje razine kulture zaštite od zračenja među opskrbljivačima ustanova koje upotrebljavaju ionizirajuće zračenje kao što su ustanove nuklearne medicine, radioterapije, dijagnostičkog oslikavanja ili industrijska postrojenja. Ključno je osigurati da su te ustanove projektirane u skladu s kulturom zaštite od zračenja. Ova točka može upućivati i na uključenje regulatornog tijela;
- Uspostavljanje procedure koja zahtijeva da opskrbljivači ustanova u kojima se upotrebljava ionizirajuće zračenje ili pružatelji usluga na tom području (održavanje, transport sredstava i druge usluge trećih stranaka) moraju biti podvrgnuti vanjskoj provjeri kako bi se ustanovilo postojanje odgovarajuće razine kulture zaštite od zračenja među direktno uključenim zaposlenicima;
- Provjera relevantnih dokumenata u svrhu osiguravanja informacija o razini kulture zaštite od zračenja.

ULOGA STRUČNJAKA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Stručnjaci za zaštitu od zračenja unutar organizacije moraju preuzeti središnju ulogu u potpori upravi pri uvođenju i utvrđivanju kulture zaštite od zračenja unutar organizacije. Razvoj kulture zaštite od zračenja mora zauzeti svoje mjesto uz ostale aspekte sigurnosne kulture, a koji su relevantni za tu organizaciju, ali budući da postoji zajednička osnova svih sigurnosnih kultura, trebalo bi doći do dobrog unutarnjeg usklađivanja. Stručnjaci za zaštitu od zračenja bi trebali pokušati osigurati da se aspekti zaštite od zračenja adekvatno implementiraju tijekom unapređivanja postojećih sigurnosnih protokola i kulture zaštite od zračenja. Stručnjaci za zaštitu od zračenja bi trebali identificirati glavne dionike koji bi trebali biti uključeni u programe unapređivanja. Ključni dionici koje bi trebalo uzeti u obzir (ovisno o okolini i radnom mjestu) jesu:

- Zaposlenici na svim razinama
- Viši rukovoditelji i direktori
- Izvođači radova
- Proizvođači opreme i opskrbljivači
- Različita regulatorna tijela
- Medicinski i zdravstveni stručnjaci, posebice, ali ne isključivo, oni koji koriste ionizirajuće zračenje
- Funkcijski rukovoditelji i upravitelji rizikom
- Pacijenti.

Široko je prepoznato da unapređivanje kulture zaštite od zračenja u mnogome ovisi o vodstvu i ponašanju najviše razine uprave unutar organizacije. Osiguranje uključivanja tih razina bi trebalo biti pri vrhu plana stručnjaka za zaštitu od zračenja jer će to pomoći ostvarenju uspjeha. Da bi to postigli, stručnjaci za zaštitu od zračenja će morati:

- Pokazati jaku osobnu motivaciju i vodstvo
- Razviti priču o zaštiti od zračenja u svim situacijama izloženosti
- Razviti odnos s upravom, zaposlenicima i regulatorima
- Razmisliti o razvoju izjave o politici kulture zaštite od zračenja u skladu s (*Nuclear Regulatory Commission, NRC*)-ovim pristupom

IRPA je 2008. izdala Smjernice za stručnjake za zaštitu od zračenja o uključivanju dionika koje se sastoje od 10 principa [1]. U svrhu uključivanja dionika u proglašavanje kulture zaštite od zračenja osobito su važni principi 2-5 i 7-9. Svi uključeni u kulturu zaštite od zračenja bi trebali biti upoznati s tim smjernicama IRPA-e.

Sljedeće točke moraju biti uzete u obzir da bi se osigurao uspjeh u razvoju kulture zaštite od zračenja i uključivanju dionika:

- Izražavanje odgovornosti
- Prepoznavanje svrhe uključivanja dionika
- Shvaćanje problema i zabrinutosti dionika od početka
- Izgrađivanje povjerenja
- Upraznjavanje otvorenosti i transparentije
- Prepoznavanje širenja uloge i metoda za uključivanje dionika

U pozitivnoj kulturi zaštite od zračenja zaposlenici se osjećaju odgovornima ne samo za svoju zaštitu od zračenja, nego i za sigurnost svojih suradnika te ih organizacijska kultura podržava da djeluju u skladu s tom odgovornošću.

Da bi vodili razvoj kulture zaštite od zračenja, stručnjaci za zaštitu od zračenja moraju razviti program koji će odgovoriti na sljedeće točke:

- Strategija i plan implementacije
- Definirati alate, resurse i procese vlasništva
- Periodička evaluacija i prilagodba plana.

U zdravstvenom sektoru utjecaj stručnjaka za zaštitu od zračenja se vidi u rastu razumijevanja za opremu za „nježno oslikavanje“ i „mudro oslikavanje“ u usporedbi s opremom od prije nekoliko desetljeća. Ovdje se opet vidi potreba za implementacijom zaštite od zračenja već od faze projektiranja što utječe na cjelokupnu dobrobit pacijenata i kulture zaštite od zračenja. Zahvaljujući toj pozitivnoj suradnji s opskrbljivačima izloženost od najnovijih uređaja za kompjuteriziranu tomografiju se smanjila deset puta u zadnjih dvadeset godina i trenutno izlaže pacijente dozi manjoj od 1 mSv (npr. korištenje novih tehnologija temeljenih na iterativnim rekonstrukcijama ili promjene u rekonstrukciji slika temeljene na optimiziranim algoritmima i visoko izvedbenim računalnim snagama).

Strateški cilj je jasan – postići pozitivan razvoj kulture zaštite od zračenja među svim zainteresiranim strankama. Međutim, taj općeniti cilj mora biti osnažen s više konkretnih ciljeva kao što je definiranje kulture zaštite od zračenja na svim ljudima jasan i razumljiv način.

SURADNJA S DRUGIM SUDIONICIMA

Postaje sve jasnije da je u javnosti potrebno poboljšati razumijevanje i povećati svijest o riziku i o potrebi zaštite od zračenja. Uzimajući u obzir sve veću odgovornost, osoblje koje se bavi zaštitom od zračenja mora biti svjesno da neke interakcije sa širim krugom sudionika mogu pomoći u razvoju i primjeni kulture radnog mjesta. Na primjer, dobivanje povjerenja i potpore sudionika navedenih u daljnjem tekstu može razviti ponos na radnom mjestu i tako pomoći u razvoju efektivne kulture radiološke zaštite.

U ovom slučaju, šire interesne grupe su sve one koje su uključene u nuklearne i radiološke poslove, uključujući: vlasti na različitim razinama; kompetentne, vlasti za specijalna područja primjene aplikacije ionizirajućeg zračenja, lokalni i/ili nacionalni političari, mediji, akademici/znanstvenici, građani te posebne i javne interesne skupine, grupe konzumenata i druge nevladine skupine

U medicinskom polju posebna pozornost bi se trebala pridavati pacijentima, koji su dio javnosti, ali koji su blisko involvirani u radiološku praksu. Akcija koja obuhvaća, objašnjava i provodi informirani pristanak za pacijente je presudna za kulturu potpune zaštite od zračenja u ovom sektoru.

ULOGA PRIDRUŽENIH DRUŠTAVA

Društva za zaštitu od zračenja pridružena (engl. *Associated Societies*, AS) Međunarodnom udruženju za zaštitu od zračenja (IRPA) imaju ključnu ulogu u podržavanju profesionalaca koji se bave zaštitom od zračenja, a koji su na prvoj crti promocije kulture zaštite od zračenja. Profesionalno osoblje koje se bavi zaštitom od zračenja tradicionalno je usmjereno na tehnička i proceduralna pitanja i ne posjeduju nužno “meke vještine” potrebne da nastupe kao “mijenjajući činilac” za vođenje kulture promjena programa.

Stoga, uloga AS može uključivati:

- pomaganje stručnjacima za zaštitu od zračenja da budu upoznati s idejom kulture zaštite od zračenja organiziranjem predavanja i tečajeva, razrađivanjem i distribuiranjem različitih informativnih materijala;
- poticanje suradnje među IRPA-e i AS te razmjena iskustava nacionalnih primjenjivanja razvoja kulture zaštite od zračenja;
- promoviranje zajedničkih informacija i organizacija sastanaka sa svim sudionicima (izvršiteljima, regulatorima, onima koji donose odluke itd.) dijeleći svoja viđenja stvari i iskustva;
- povećanje vidljivosti ZoZ (sastanci, mediji, mrežne stranice itd.) i osobito pomaganje u usvajanju općenitih smjernica tako da odgovaraju nacionalnim karakteristikama;
- različita udruženja/organizacije zaštite od zračenja u zemlji koja su uključena u različite razine i područja (medicina, industrija, okoliš...) koja doprinose stvaranju središnjega nacionalnog kontaktnog mjesta za dijeljenje informacija na državnoj razini o iskustvima u razvoju kulture zaštite od zračenja;
- iskorištavanje prilike za poticanje sudjelovanja i stvaranje okoliša koji promovira dijalog i širi informacije među svojim sudionicima;
- razvijanje smjernica po tipu obrazovanja i treninga prikladnog za ne-specijaliste zaštite od zračenja koji trebaju sudjelovati u poboljšanju

kulture zaštite od zračenja (npr. seniori voditelji, medicinsko osoblje koje se ne bavi zaštitom od zračenja itd.);

- širenje informacija o posljednjim postignućima, strategijama i budućem smjeru zaštite od zračenja;
- javna događanja i sastanci s mogućnošću privlačenja javnosti;
- Provođenje anketa:
 - na nacionalnoj razini za profesionalce i direktno uključene ljude;
 - program koji identificira ljude, tipove i aktivnosti različitih profesionalnih udruženja te prikupljanje specifičnih aktivnosti koje se izvode radi poboljšanja kulture zaštite od zračenja;
 - stvaranje jedinstvene mrežne stranice ili multimedijalne točke kontakta zajedno s raznim udrugama, a s ciljem razvijanja kulture zaštite od zračenja među profesionalcima;
 - mogućnost članstva u udruženju, bilo za pojedinca ili tvrtku, za provođenje ankete o značajkama vezanim za kulturu zaštite od zračenja;
 - specifičan upitnik o znanju i razumijevanju etičkog kodeksa zaštite od zračenja koji će od strane udruženja biti podijeljen pretplatnicima.

Svako pridruženo društvo bi moglo pripremiti akcijski plan za implementaciju svojih programa kulture zaštite od zračenja. Taj plan bi u principu odgovarao smjernicama IRPA-e, ali ga pridruženo društvo mora detaljnije razraditi u skladu s lokalnom situacijom. Kultura je uvijek regionalna ili nacionalna i to se mora odražavati kroz pridružena društva. Puno je načina donošenja kulture zaštite od zračenja stručnjacima za zaštitu od zračenja i oni će se razlikovati među društvima. Svako društvo će naći način koji mu najbolje odgovara, a što će ovisiti i o dostupnim resursima.

Napokon, mogla bi postojati evaluacija cijelog procesa razvoja kulture zaštite od zračenja i mogućnost adaptacije ili dorade implementacijskog plana. Važno je uzeti u obzir da će implementacijski proces trajati. Moguće je da će članove društva morati motivirati jako vodstvo. Također bi važno moglo postati dijeljenje pozitivnih inicijativa i najboljih praksi kulture zaštite od zračenja na dobrobit cijelog društva. IRPA kongresi bi trebali biti idealne platforme za raspravu o toj temi u sljedećim godinama ili čak desetljećima.

LITERATURA

- [1] IRPA guiding principles for establishing a radiation protection culture: edition 2014 <http://www.irpa.net/members/IRPA-Guiding Principles on RP Culture - 2014 .pdf>

RADIATION PROTECTION CULTURE IN MEDICINE

Jelena Popić Ramač¹, Ivana Kralik² and Željka Knežević³

¹Clinical hospital Merkur, Zagreb / School of Medicine, University of Zagreb, Croatia

²State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

³Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

jelena.popic.ramac@gmail.com

The International Radiation Protection Association (IRPA) is an independent non-profit association of radiation protection professionals joining through national and regional radiation protection societies (the Associate Societies - AS). IRPA is recognized as an important part of radiation protection profession in the enhancement of radiation protection culture and practice worldwide.

IRPA has recognised the importance of establishing a radiation protection culture and recently published “IRPA Guiding Principles for Establishing a Radiation Protection Culture”. The objective of this document is to provide guidance to help radiation protection professionals in order to promote a successful RP culture in their organisation and workplace.

ETIKA ZAŠTITE OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U PEDIJATRIJSKOJ RADIOLOGIJI GORNJIH DIŠNIH PUTEVA

Durđica Milković¹ i Mária Ranogajec-Komor²

¹Dječja bolnica Srebrnjak, Zagreb

²Institut Ruđer Bošković, Zagreb

durdica.milkovic@gmail.com

UVOD

Etika je znanost odnosno filozofija o moralu koja istražuje smisao i ciljeve moralnih normi, osnovne kriterije za moralno vrednovanje. Etika prije svega pripada filozofiji koja proučava ljudsko ponašanje koje je prihvaćeno pod određenim moralnim aspektom. Moral je pozitivna praksa odnosa čovjeka s ljudima, društvom, materijalnim dobrima. Medicinska etika kao jedna od profesionalnih etika obuhvaća opća etička načela u medicini. Ona daje smjernice za ispravnost liječničkog djelovanja [1]. Etika u radiološkoj dijagnostici je kombinacija etičkih principa propisanim etičkim kodeksom IRPA-e [2] o održavanju profesionalne razine etičkog ponašanja pri zaštiti od zračenja i medicinske etike o obvezi poznavanja i pridržavanja moralnih načela pri korištenju rendgenskih zraka. Radovi I. Ružičke o ulozi i problemima medicinske etike u radiologiji u Hrvatskoj ukazali su na važnost ove problematike [3-4].

Etički principi naročito su bitni u pedijatriji. Na Odjelu za radiologiju Dječje bolnice Srebrnjak dugi niz godina obraća se osobita pozornost zaštiti bolesnika od ionizirajućeg zračenja. To je osobito važno kod snimanja paranazalnih šupljina zbog specifičnosti razvoja istih, zbog radiosenzibilnih organa koji su izloženi pri snimanju te zbog vrijednosti doze koje pacijenti dobivaju tijekom pregleda. Kako je patologija sinusa česta u dječjoj dobi to iziskuje i rendgensku obradu istih.

Cilj našeg dugogodišnjeg rada bio je ispitivanje svih mogućnosti i specifičnosti za zaštitu od zračenja najmlađe populacije pri rendgenskom pregledu. U tu svrhu odredili smo doze zračenja pri pregledu sinusa na fantomu i na djeci jer poznavanje doza zračenja je osnova za zaštitu od zračenja. Dobivenu dozu zračenja u dječjoj dobi nastojali smo smanjiti pomnom procjenom indikacije uz suradnju kliničara i radiologa, predlaganjem algoritma pretraga i druge metode pregleda. Nadalje

procijenjivali smo ulogu edukacije inženjera medicinske radiologije, važnost adekvatne opreme u rendgenskoj dijagnostici i uporabe zaštitnih sredstava.

Za mjerenje doza zračenja koristili smo se termoluminescentnim (TL) i radiofotoluminescentnim (RPL) dozimetrijskim sustavima.

DOZE ZRAČENJA KOD SNIMANJA PARANAZALNIH ŠUPLJINA

Odredili smo doze zračenja na oku i na štitnjači pri pregledu paranazalnih šupljina (Tablica 1), budući da oko i štitnjača spadaju u skupinu radiosenzibilnih organa [5]. Velika standardna devijacija kod svih mjerenja na pacijentima ukazuje na realnu situaciju u rutinskim mjerenjima. Uvjeti zračenja nisu dobro definirani, nego ovise o nizu čimbenika. Raspon doza na lijevom oku u obje dobne skupine je velik i iznosi 0,01 – 0,39 mSv u dobnoj skupini do 10 godina i 0,01 – 0,53 mSv u drugoj dobnoj skupini. Doze na štitnjači u obje dobne skupine su niske, praktički su na granici mjerljivosti dozimetrijskog sustava (0,02 mSv).

Tablica 1. Srednje vrijednosti doza zračenja pri snimanju sinusa

Dob (godine)	Doza ± stand. devijacija (mSv)	
	Lijevo oko	Štitnjača
do 10	0,10 + 0,11	0,02 + 0,02
iznad 10	0,17 + 0,16	0,02 + 0,02
Srednja vrijed. (mSv)	0,14	0,02
Stand. devijacija (mSv)	0,05	0,00

Izmjerene su ulazne doze na glavi dječjeg fantoma i unutar fantoma u različitim slojevima na mjestima ispitivanih organa [6]. Vrijednosti relativnih doza omogućuju da se izračunaju doze na štitnjači i očima iz ulaznih doza izmjerenih na površini pacijenta, a u svrhu procjene rizika zračenja prilikom snimanja paranazalnih šupljina.

ULOGA INDIKACIJE ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Radiolozi imaju etičku dužnost da surađuju s kliničarima u donošenju odluke o indikaciji pregleda paranazalnih šupljina zbog prevencije od suvišnog ozračivanja. Kliničari imaju dužnost da od radiologa traže savjete o potrebi određene radiološke pretrage. Da je indikacija posebno značajna

za zaštitu od zračenja vidi se iz studije I. Ružičke [4]. Analiza pretraga utvrdila je da je u godinu dana 17,5 % pretraga bilo nepotrebno.

Indikacija za snimanje sinusa nije uvijek u potpunosti jasna. Dijagnoza akutnog sinusitisa se obično temelji na anamnezi i fizikalnom pregledu, pa rendgensko snimanje nije potrebno. Ultrazvučni ili indicirani radiološki pregled valja učiniti kod pacijenata s kroničnim sinusitisom.

Ispravnost medicinske indikacije napose se odnosi na snimanje paranazalnih šupljina u dječjoj dobi, budući da sinusi nisu u potpunosti razvijeni do pete godine života. Prema tome, snimanje sinusa djece do te dobi trebalo bi učiniti samo u iznimnim slučajevima.

Da je taj princip prihvaćen u Dječjoj bolnici Srebrnjak, vidi se iz vrlo malog broja pregledanih pacijenata u dobnoj skupini 0-5 godina [7].

ALGORITAM PRETRAGA I METODE PREGLEDA

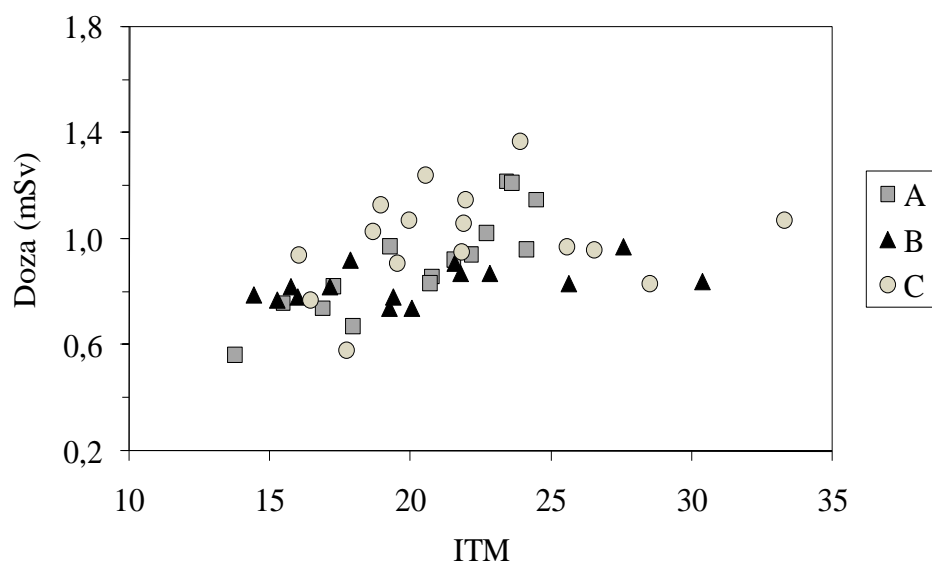
U rutinskoj praksi pokazala se potreba napose u pedijatrijskim odjelima da se naprave algoritmi pretraga po kojima bi se radilo obzirom na specifičnosti razvoja sinusa u djece u odnosu na dob.

Nakon pomnog kliničkog pregleda anamneze i statusa te laboratorijskih nalaza može se postaviti indikacija za snimanje paranazalnih šupljina. Ukoliko nema dovoljno podataka za sigurnu i točnu dijagnozu u daljnjem postupku obrada dolaze u obzir UZ sinusa, CT i MR. U mnogim slučajevima CT pregled daje više podataka nego standardna snimka. Međutim, zbog veće izloženosti pacijenata, radiogram sinusa ostaje kao prva i osnovna radiološka pretraga nakon pregleda kliničara.

ULOGA EDUKACIJE INŽENJERA MEDICINSKE RADIOLOGIJE

Rezultati istraživanja pri pregledu torakalnih organa pokazali su dobro slaganje između izmjerene doze i indeksa tjelesne mase (ITM) kod 2 inženjera medicinske radiologije (prosječna doza: 0,12 – 0,19 mSv) dok su veće doze zračenja izmjerene (0,33 – 0,39 mSv) nakon pregleda bolesnika, koje je provodio treći inženjer medicinske radiologije. Nakon edukacije doze nisu pokazale sustavnu razliku u radu tri inženjera [8] niti pri pregledu toraksa kao ni kod snimke sinusa (Slika 1) [6].

Prema Etičkom kodeksu IRPA-e [2] „članovi trebaju poduzeti sve razumne korake kako bi se uvjerali da su osobe koje obavljaju posao pod njihovim nadzorom ili upravom kompetentne“. Zbog toga je odgovornost radiologa da ulažu trud u edukaciju osoblja u rendgenskoj dijagnostici.



Slika 1. Odnos doze i indeksa tjelesne mase (ITM) nakon edukacije. A, B, C su oznake za tri inženjera medicinske radiologije

ZAŠTITNA SREDSTVA KOD SNIMANJA PARANAZALNIH ŠUPLJINA

Kod svakog pregleda sinusa obavezno se koristi zaštitni olovni ovratnik za štitnjaču (Slika 2). Uvjetima snimanja nastoji se smanjiti ozračivanje pacijenta, a da kvaliteta radiograma bude prikladna za interpretaciju radiograma.



Slika 2. Pregled sinusa s olovnim ovratnikom i sa TL dozimetrima

ZAKLJUČAK

U našem dugogodišnjem radu u pedijatrijskoj radiologiji gornjih dišnih puteva nastojali smo ispitati čimbenike koje utječu na izloženost pacijenata zračenju u svrhu poboljšanja zaštite od zračenja. Iskustvo pokazuje da je osim objektivnih uvjeta rada ljudski faktor značajan. Zbog toga je pridržavanje etičkih principa, tj, opravdane medicinske indikacije i stalna edukacija, neophodno.

LITERATURA

- [1] Švajger A. Medicinska etika. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, 1995.
- [2] International Radiation Protection Association (IRPA). IRPA Code of Ethics Document IRPA11/GA/4, Ref. 04/07, Madrid, IRPA, 2004.
- [3] Ružička I. Perspektive racionalnog izvođenja rendgendiagnostičkim pretragama. U: Despotović R, i ostali, ur. Zbornik radova Prvoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 24-26. studenoga 1992; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 1992. str. 193-97.
- [4] Ružička I. Medicinska etika i zaštita od suvišnih ozračivanja, U: Obelić B, Franić Z, ur. Zbornik radova Četvrtoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 11-13. studenoga 1998; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 1998. str. 297-300.
- [5] Milković Đ, Ranogajec-Komor M, Krstić-Burić M, Hebrang A. Bestimmung der Bestrahlungsdosis in radiologischer Diagnostik paranasaler Sinus bei Kindern und Jugendlichen. Atemwegs- und Lungenkrankheiten. 1993;19(1):101-04.
- [6] Milković Đ, Miljanić S, Knežević Ž, Beck N, Žagar I, Ranogajec-Komor M. Doze zračenja pri snimanju paranazalnih šupljina djece. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I. ur. Zbornik radova Devetoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 10-12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2013. str. 265-70.
- [7] Milković Đ. Izloženost zračenju, mogućnosti zaštite i procjena rizika pri snimanju dišnih puteva djece. Doktorska disertacija, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1998.
- [8] Beck N, Knežević Ž, Milković Đ, Miljanić S, Ranogajec-Komor M. Utjecaj ljudskog čimbenika u zaštiti od zračenja pri snimanju dišnih puteva. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G. ur. Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. 13-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ, 2011. str. 287-91.

RADIATION PROTECTION ETHICS IN PEDIATRIC RADIOLOGY OF SINUSES

Durđica Milković¹ and Mária Ranogajec-Komor²

¹Children Hospital Srebrnjak, Zagreb, Croatia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

durdica.milkovic@gmail.com

X-ray diagnostic of paranasal sinuses of children has some specifics. The sinuses are not completely developed under the age of 5-7 years; oral cavity and the retina of the eyes are directly exposed to ionising radiation. Children are more radiosensitive than other population. Therefore in our long-term research many efforts were done to improve the radiation protection of the children patients. In that purpose doses were measured on the children patients and phantom with thermoluminescent (TL) and radiophotoluminescent (RPL) dosimetric systems.

Our experience shows that in addition to technical parameters human factors have significant influence on the radiation protection in X-ray diagnostic of sinuses. Therefore, compliance of ethical principles is very important. According to the IRPA Code of Ethics medical staff shall not allow to compromise their professional judgement and advice, i.e. medical indication for X-ray examination has to be decided according to best knowledge. Further, the Code of Ethics recommends that medical staff should strive to improve their own professional knowledge and skills. The dosimetric results in our study indicated quantitatively the positive role of continuous education and good teamwork for dose reduction. In accordance with the ethics in radiation protection it is necessary to use correct algorithm of diagnostic images as well as all devices for radiation protection.

ŠTO STUDENTI MEDICINSKOG FAKULTETA U ZAGREBU MOGU NAUČITI O ZAŠTITI OD ZRAČENJA NA NASTAVI IZ FIZIKE?

Sanja Dolanski Babić

Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

sanja.dolanski.babic@mef.hr

UVOD

Od samog osnutka Medicinskog fakulteta (MF) 1917. godine studenti medicine pohađaju nastavu iz fizike. Zavod za fiziku i biofiziku, osnovan 1948. godine, danas je posebna organizacijska jedinica MF, u kojoj se ostvaruju znanstveni, nastavni i stručni programi iz područja fizike, biofizike, medicinske fizike i biomaterijala. Nastava se održava za studente medicine na hrvatskom i na engleskom jeziku te za studente dentalne medicine. Nastavni plan i program Medicinskog fakulteta se nije značajno mijenjao od 2006. godine. Studenti medicine 1. godine pohađaju kolegij *Fizika i biofizika* (60 sati, 6 ECTS) dok studenti 4. godine slušaju kolegij *Fizika medicinske dijagnostike* (20 sati, 1 ECTS). Studenti dentalne medicine pohađaju kolegij *Fizika* (60 sati, 6 ECTS) na 1. godini. U ovom radu su predstavljene perspektive kolegija *Fizika medicinske dijagnostike* te će za primjer biti diskutirana dva ispitna pitanja [1]. Također su predstavljeni rezultati ankete o kulturi zaštite od zračenja, koja je provedena na Medicinskom i Stomatološkom fakultetu u Zagrebu.

MATERIJAL I METODE

Teme vezane za izvore ionizirajućeg zračenja u medicinskoj uporabi, interakciju elektromagnetskog zračenja i tkiva te dozimetriju obrađuju se u 6 sati seminara, 4 sata predavanja i 2 sata vježbi u okviru kolegija *Fizika medicinske dijagnostike*. Kao voditeljica kolegija od 2010. godine još uvijek tražim najbolji pristup zadanim temama u cilju povećanja studentskog interesa, usvajanja pojmovnika iz fizike koji je potreban u svakodnevnom radu liječnika, u njihovom profesionalnom usavršavanju i kritičkom praćenju jednostavnih znanstvenih članaka iz područja zaštite od ionizirajućeg zračenja.

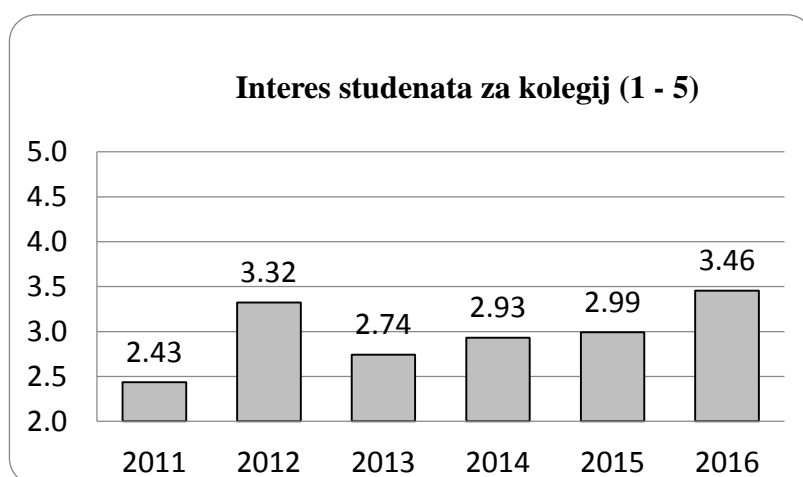
S obzirom da se nastava na Medicinskom fakultetu odvija u turnusima, četvrtina generacije pohađa nastavu iz našeg kolegija 5 radnih dana. Kako kolegij nosi samo 1 ECTS bod i većina studenata ne pokazuje značajniji interes, kolegij bi trebalo tako organizirati i izvoditi da tijekom nastave studenti savladaju veći dio gradiva. Obavijesti i sve nastavne sadržaje, uključujući prezentacije seminara i predavanja, video uratke nastavnika, nastavne i studentske tekstove studenti mogu vidjeti tjedan prije početka nastave preko *Sustava za upravljanjem obrazovnim okruženjem* Medicinskog fakulteta (LMS). Tijekom nastave studenti mogu obraditi zadane seminarske teme i pri tome dobiti dodatne bodove. Seminarske teme su najčešće analiza članaka objavljenih u Zbornicima radova simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja ili npr. upoznavanje s organizacijom IAEA i njihovom web stranicom. Posljednjeg radnog dana seminar se održava u kompjuterskoj učionici gdje studenti rješavaju on-line test s pitanjima iz svih nastavnih cjelina u cilju evaluacije nastavnog programa. Pitanja su poput ispitnih, imaju 4 ponuđena odgovora od kojih je samo jedan točan. Sva pitanja se analiziraju odmah jer voditelj seminara može pratiti statistiku rješenosti cijele seminarske grupe. Ako je potrebno voditelj može objasniti ponovno dio gradiva koje studenti nisu savladali. Studenti koji nisu bili zainteresirani participirati tijekom nastave pripremom seminara, ali i svi ostali, tijekom vikenda poslije odslušane nastave mogu dobiti dodatne bodove uspješnim rješavanjem on-line personaliziranih testova. Tako imaju mogućnost da iz svog vlastitog doma, uz eventualnu pomoć literature i prijatelja, u svoje slobodno vrijeme participiraju. Na kraju kolegija se provodi anonimna on-line anketa u kojoj studenti ocjenjuju kolegij, udžbenik, izvedbu nastave, nastavnike te svoj interes i trud. Ove akademske godine 2016/17 su dodatno anketirani studenti medicine i studenti dentalne medicine na temu kulture zaštite od zračenja.

REZULTATI

Studenti polažu samo pismeni ispit iz kolegija *Fizika medicinske dijagnostike* iz kojeg ne dobivaju ocjenu, ali trebaju zadovoljiti definirane kriterije prolaza. Za primjer su dana slijedeća dva ispitna pitanja [1]. Na kraju ponuđenog odgovora je u zagradi izračunati postotak studenata koji su taj odgovor prepoznali kao točan.

1. U člancima na temu utjecaja ionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi navodi se podatak da je katarakta deterministički učinak za doze od 5 Sv. Što možete zaključiti iz navedenog?

- a) Katarakta se javlja kod svih ozračenih osoba koje su primile 5 Sv ili više. **(34 %)**
 - b) Katarakta se može javiti kod nekih ozračenih jedinki koje su primile jednokratno dozu od 5 Sv. (13 %)
 - c) Katarakta se javlja kod svih ozračenih osoba koje su primile više od 5 Sv u jednom navratu, ali ne nužno i kod ostalih koji su primili istu dozu u duljem vremenskom intervalu. (24 %)
 - d) Katarakta je deterministički učinak pa se javlja samo kod onih koji su ozračeni gama česticama. (29 %)
2. Rendgenski snop dobiven anodnim naponom od 40 kV će najvjerojatnije interagirati
- a) s lakim atomima tkiva fotoelektričnim učinkom. (12%)
 - b) s teškim atomima tkiva fotoelektričnim učinkom. **(57%)**
 - c) s lakim atomima tkiva Comptonovim učinkom. (20%)
 - d) s teškim atomima tkiva Comptonovim učinkom. (12%)



Slika 1. Prosječna ocjena interesa studenata medicine za kolegij *Fizika medicinske dijagnostike* u vremenskom razdoblju od 2011. do 2016. godine.

Na prvo pitanje je odgovaralo 155 studenata, a samo 34 % je prepoznalo odgovor *a* kao točan. S pojmom determinističkih učinaka studenti su se već susreli tijekom studija pa ovakav rezultat pokazuje njihovo nerazumijevanje medicinske terminologije. Prepoznavanje osnovnog mehanizma interakcije rendgenskog zračenja i biološkog tkiva

pokazalo je 57 % studenata (odgovor *b* je točan) od ukupno 232 testirana studenta (pitanje pod brojem 2). Rezultate testiranja možemo cjelovitije razumjeti u kontekstu studentskih anketa. Studenti su ocijenili svoj interes za kolegij na skali od 1 do 5 (slika 1) u razdoblju od 2011. do 2016. godine.

Nadalje, slijede rezultati anketiranja studenata na temu kulture zaštite od ionizirajućeg zračenja. Anketu je ispunilo 150 studenata medicine 4. godine (MF) neposredno nakon seminara o dozimetriji i zaštiti od zračenja te radi usporedbe i 60 studenata dentalne medicine 1. godine (SF) neposredno nakon pismenog ispita iz fizike. Studenti dentalne medicine u okviru kolegija *Fizika* na ukupno 5 sati nastave (seminari i vježbe) mogu naučiti osnovno o izvorima i zaštiti od ionizirajućeg zračenja. Treba naglasiti da anketirani studenti nisu još pohađali nastavu iz *Radiologije*. Pitanje pod brojem 3 nije ispitno jer je prejednostavno. No, rezultati ankete pokazali su da čak 24 % studenata 4. godine medicine, a 36 % dentalne medicine ne zna da je izvor zračenja u CT uređaju rendgenska cijev.

3. CT - kompjutorizirana tomografija se ostvaruje
 - a) primjenom rendgenskih zraka (76 % MF, 64 % SF)
 - b) snopovima elektrona (9 % MF, 24 % SF)
 - c) za niskodozne protokole primjenom elektromagnetskog zračenja koje nije ionizirajuće (7 % MF, 10 % SF)
 - d) snopovima protona (8 % MF, 2 % SF)
4. U okviru studija medicine temama vezanim za izvore ionizirajućeg zračenja, interakciju zračenja i tkiva te zaštitu od zračenja:
 - a) uopće se ne treba baviti jer će manji broj studenata ići na specijalizaciju iz radiologije (0 % MF, 2 % SF)
 - b) može se objasniti u 15 minuta (0 % MF, 9 % SF)
 - c) dovoljno je odvojiti 1 školski sat (34 % MF, 56 % SF)
 - d) potrebno je barem 2 školska sata (64 % MF, 33 % SF)
5. Osnovne informacije o zaštiti od zračenja bi trebali usvojiti svi studenti medicine.

DA (100 % MF, 95 % SF)
NE
6. U okviru specijalističkog studija osnovna znanja o izvorima ionizirajućeg zračenja, interakciji zračenja i tkiva te zaštiti od zračenja bi trebali usvojiti svi budući specijalisti koji će moći upućivati pacijente na dijagnostičke pretrage s uporabom ionizirajućeg zračenja.

DA (100 % MF, 98 % SF)
NE

DISKUSIJA

Rezultati ankete o kulturi zaštite od zračenja pokazali su da svi anketirani studenti medicine smatraju da svi studenti medicine i specijalizanti trebaju usvojiti osnovne informacije o izvorima i zaštiti od ionizirajućeg zračenja. S druge strane, rezultati ispitnih pitanja pokazuju da je otprilike samo trećina studenata usvojila osnovno znanje. Možemo zaključiti da za nastavnike i za studente pojam osnovnog znanja nije isti. Stoga je potrebno pripremiti takve nastavne tekstove iz kojih je savršeno jasno definirano koje osnovne pojmove svi studenti trebaju znati. Rezultati samoprocjene studenata pokazuju slabu zainteresiranost što bi nas kao nastavnike trebalo dodatno motivirati. Uvidom u pojedinačne ankete može se zaključiti da se ocjene kolegija i zainteresiranosti studenta često podudaraju s ocjenama nastavnika koji im je držao veći dio nastave. To eksplicitno govore i studentski komentari. Nastavnici koji uz stručne kompetencije posjeduju komunikacijske vještine i osnovno poznavanje studentskog načina razmišljanja i znanja imaju bolji uspjeh u edukaciji. To se može razumjeti i u kontekstu interdisciplinarnosti zaštite od zračenja kao znanstvenog područja. Poznato je da je uspješnost interdisciplinarnih znanstvenih i stručnih timova određena stručnim kompetencijama, ali i komunikacijskim vještinama suradnika različitih profesija. Rezultati naših anketa su također u skladu s intencijama relevantnih europskih institucija koje razvijaju programe za medicinske fizičare kao voditelje timova [2].

LITERATURA

- [1] Dolanski Babić S, Kosović M. [The perspective of the course "Physics of Medical Diagnostics" for students of medicine](#). In: Hršak H, Budanec M, eds. 7th Alpe-Adria Medical Physics Meeting Proceedings; May 19-21, 2016; Zagreb, Croatia. Zagreb; 2016. p.238-240.
- [2] Caruana C, Vano E. Preparing future Medical Physics Leaders for Europe: EUTEMPE-RX module MPE01 "Development of the profession and the challenges for the MPE(D&IR) in Europe". In: Hršak H, Budanec M, eds. 7th Alpe-Adria Medical Physics Meeting Proceedings; May 19-21, 2016; Zagreb, Croatia. Zagreb; 2016. p.11-14.

WHAT STUDENTS OF SCHOOL OF MEDICINE IN ZAGREB CAN LEARN ABOUT RADIATION PROTECTION IN PHYSICS CLASS?

Sanja Dolanski Babić

School of Medicine, University of Zagreb, Croatia

e-mail: sanja.dolanski.babic@mef.hr

School of Medicine has had a tradition of teaching Physics since its foundation in 1917. Nowadays, 300 medical students per generation take the course *Physics and Biophysics* (60 course hours, 6 ECTS) in the first year and the course *Physics of Medical Diagnostics* (20 hours, 1 ECTS) in the fourth year. Such a program has been implemented by the School of Medicine since the academic year of 2006/07. A perspective of the course *Physics of Medical Diagnostics* based on results of the exam questions and the student polls through the years is presented in this paper. Topics related to sources of ionizing radiation in medical use, the interaction of electromagnetic radiation and tissue as well as dosimetry are processed in 6 hours of seminars, 4 of lectures and 2 of laboratory exercises. The results of a survey about the culture of radiation protection, which was conducted at the School of Medicine and School of Dental Medicine in Zagreb, are presented as well. These results have shown that all surveyed medical students believe that every medical student and resident doctor should acquire basic information on the sources and protection against ionizing radiation. On the other hand, the results of the exam questions show that only about a third of the students passed the basic knowledge which is in line with the results of self-assessment of students who show little interest in this area.

OPĆE TEME

GENERAL TOPICS

AKTIVNOSTI EURADOS-a U MONITORINGU OKOLINE – NOVI EUROMET PROJEKT

Mária Ranogajec-Komor i Željka Knežević
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
marika@irb.hr

UVOD

Cilj EURADOS-a (*European Radiation Dosimetry Group*) je unaprjeđenje istraživanja u području dozimetrije. EURADOS djeluje u osam radnih grupa koje su formirane prema aktualnoj tematici u dozimetriji ionizirajućeg zračenja. Naziv i tema radne grupe 3 (*Working Group 3 - WG3*) je “Dozimetrija u okolini” (*Environmental dosimetry*). Grupa je dugi niz godina radila na harmonizaciji i metrologiji gama spektrometrije u okolini. Sada grupa djeluje u dvije podgrupe: 1. Spektrometrijski sustavi u monitoringu okoline (WG3-S1); 2. Pasivni dozimetrijski sustavi u monitoringu okoline (WG3-S2). Nedavno je WG3 uključila i radon u svoju tematiku.

Program radne grupe je ispravno mjerenje doza zračenja u okolini (ambijentalnog doznog ekvivalenta), brzine doze, koncentracije radioaktivnosti u slučaju različitih događanja kao što su rutinski pogon, nuklearna nesreća ili teroristički napadi. WG3 koordinira istraživačke projekte za unaprjeđenje znanstvene osnove dozimetrije u okolini s posebnim naglaskom na promociji novih tehničkih dostignuća, doprinosi harmonizaciji mjernih postaja mreže Sustava pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću, tehničkom i metodološkom razvitku dozimetrije u okolini, te stimulira organizaciju interkomparacijskih programa i suradnji s europskim i nacionalnim organizacijama te istraživačkim projektima. Istraživačkim radom WG3 doprinosi postavljanju standarda i preporuka u području monitoringa zračenja u okolini [1].

Važan pokazatelj sadašnjih aktivnosti radne grupe je prihvaćen (krajem 2016. godine) znanstveno-istraživački projekt EUROMET, pod nazivom “Metrologija za mobilnu detekciju ionizirajućeg zračenja nakon nuklearne ili radiološke nezgode” (*Metrology for mobile detection of ionising radiation following a nuclear or radiological incident*; skraćeno: *PREPAREDNESS*) u kojem sudjeluje 17 institucija iz Europe, a sudionici su pretežno članovi radne grupe EURADOS-a. U projekt je uključen i

Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju Instituta Ruđer Bošković (LRKD, IRB).

Ciljevi projekta i radni paketi (*Workpackage* - WP) su:

- Razvoj i validacija sustava za daljinsko mjerenje brzine doze i koncentracije radioaktivnosti pomoću dronova i helikoptera, WP1
- Razvoj i validacija prenosivih sustava za uzorkovanja zraka u svrhu dobivanje brzih informacije o razinama radioaktivnog onečišćenja u zraku, WP2
- Istraživanje mjeriteljske relevantnosti podataka o brzini doze dobivene takozvanim "crowd monitoringom" tj. koliko su relevantni metrološki masovni podaci koji se u slučaju nuklearne nesreće mjere i skupljaju u različite baze podataka, WP3
- Izrada postupaka za mjerenja brzine doze pasivnim dozimetrima, WP4
- Promicanje prijenosa znanja prema upravnim organima i tijelima za donošenje odluka oko uvođenja nove tehnologije, metodologije i postupaka s posebnim naglaskom na donošenje međunarodnih standarda i propisa u EU, WP5-6.

AKTIVNOST PODGRUPE “SPEKTROMETRIJSKI SUSTAVI U MONITORINGU OKOLINE”

WG3-S1 uključena je u istraživanje spektrometrijskih sustava koji se koriste i za dozimetrijsko i za spektrometrijsko praćenje zračenja u okolini. U okviru EURADOS-a grupa je do sada organizirala 7 interkomparacija gama spektrometrije [2]. Poseban rezultat WG3-SG1 je da su članovi pridonijeli europskom istraživačkom projektu “Metrologija mreže Sustava pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću u Europi” (*Metrology for radiological early warning networks in Europe*; skraćeno: *METROERM*) koji je započeo 2014. godine i završit će u svibnju 2017. [3].

Cilj ovog projekta bio je osiguranje metrologije fundamentalnih radioloških podataka (ambijentalni dozni ekvivalent, koncentracija radioaktivnosti u zraku, kontaminacija tla) u pravom, realnom vremenu. Projekt je pružio jedinstvenu mogućnost za sveobuhvatno rješavanje usklađivanja sustava pravodobnog upozoravanja na nuklearne nesreće u Europi što je najopsežniji sustav praćenja radioaktivnoga zračenja u okolini u cijelom svijetu. Aktivnosti su bile usmjerene na razvoj: novih instrumentacija za mjerne stanice u okolini; slijedivih kalibracijskih postupaka; novih postupaka za izračunavanja brzine doze i kontaminacije iz

in situ gama spektroskopskih podataka [4]; novih slijedivih referentnih materijala i standardnih izvora.

WG3-S1 je uključena u novi projekt “*PREPAREDNESS*”. Posebna će se pozornost posvetiti istraživanju upotrebe gama spektrometrijskog sustava za praćenje radioaktivnoga zračenja u okolišu, uključujući i “dronove” u slučaju nuklearne nesreće.

AKTIVNOST PODGRUPE „PASIVNI DOZIMETRIJSKI SUSTAVI U MONITORINGU OKOLINE“

WG3-S2 je od osnutka 2014. godine prikupljala informacije o dozimetrijskoj praksi u Europi pomoću upitnika te organizirala prvu interkomparaciju pasivnih dozimetara za mjerenja doza u okolini. Aktivnosti i dobiveni rezultati interkomparacije opisani su u literaturi [1,5-7].

Trenutno je WG3-S2 usmjerena na dvije nove aktivnosti: 1. organiziranje interkomparacije kalibracijskih postupaka za pasivne (area) dozimetre; 2. sudjelovanje u WP4 unutar projekta *PREPAREDNESS*.

Organiziranje 1. EURADOS interkomparacije kalibracijskih postupaka za pasivne (area) dozimetre

Interkomparacija služi kao međunarodno ispitivanje sposobnosti umjeravanja različitih instituta koji obavljaju kalibraciju pasivnih dozimetara za sebe ili za vanjske naručioce. Cilj interkomparacije je da odredi razinu prihvaćanja rezultata kalibracije, da nakon rasprave optimizira postupke kalibracije i pripadajuće mjerne nesigurnosti. Planira se da se nakon interkomparacije izdaje sudionicima certifikat o testiranju. Rezultati interkomparacije će se publicirati te se planira izrada tehničkih preporuka.

U postupku interkomparacije planira se da institucije, servisi itd. koje sudjeluju, pošalju određeni set dozimetara u izabrani laboratorij zbog ozračivanja. Dozimetri će biti ozračeni poznatom kalibracijskom dozom na ^{137}Cs izvoru u $H^*(10)$ vrijednostima. Rezultati će biti uspoređeni sa dozama dobivenim iz primarnog standardnog dozimetrijskog laboratorija.

Sudjelovanje u WP4 projekta *PREPAREDNESS*

Cilj ovog radnog paketa je utvrditi stabilne i ponovljive postupke za mjerenja brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta pasivnim dozimetrijskim sustavima u svrhu harmonizacije pasivne dozimetrije u okolini. Pomoću pasivne dozimetrije može se provesti dugotrajno praćenje vanjske gama doze nakon nuklearne ili radiološke nezgode. Uz sve prednosti te

dozimetrije (veličina, cijena, rad bez električnog napajanja), postoje i nedostaci: mjeriteljska točnost podataka nije uvijek jasna. U radnom paketu WP4 bit će istraživana primjenjivost pasivnih dozimetrijskih sustava u monitoringu okoline. WP4 se sastoji od četiri zadatka:

1. *Ispitavnje trenutnog stanja pasivne dozimetrije u monitoringu okoline.* To uključuje istraživanje mogućnosti primjene takvih dozimetrijskih sustava kroz interkomparacije te njihova ograničenja. Interkomparacija će biti otvorena za dozimetrijske ustanove svih europskih zemalja, koje upotrebljavaju termoluminescentne (TL), radiofotoluminescentne (RPL) ili optički stimulirane luminescentne (OSL) detektore u monitoringu okoline. Rezultati će služiti za identificiranje mogućih izvora greške između izmjerenih podataka brzina doze u različitim europskim zemaljama.
 2. *Tehnička i metodološka istraživanja pasivnih "područnih" (area) dozimetara* ima za cilj sustavno ispitivanje osnovnih dozimetrijskih svojstva pasivnih sustava kao npr: energijsku i kutnu ovisnost, linearnost i posebno najnižu granicu detekcije.
 3. *Postupak za mjerenje brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta* ionizacijskim komorama (*electret ion chambers*) ima za cilj istraživanja mogućnosti ovih vrsta komora.
 4. *Harmonizacija postupaka za mjerenja brzine doze pasivnim dozimetrijskim sustavima u Europi* znači izradu preporuka metode kako bi lokalne ili nacionalne vlasti dobile kvantitativne i pouzdane podatke u slučaju nuklearne ili radiološke nezgode.
- LRKD sudjeluje u zadacima 1, 2 i 4 WP4 te u radnom paketu WP5-6.

ZAKLJUČAK

Radna grupa 3 EURADOS-a ima zadatak koordiniranja istraživačkih projekata s ciljem unaprijeđenja znanstvenih spoznaja, mjeriteljstva i razvoja tehnologije za monitoring zračenja u okolini.

U tu svrhu grupa je, osim stalnog praćenja situacije u dozimetriji okoliša, organizirala više interkomparacija za gama spektroskopske sustave te jednu s pasivnim dozimetrijskim sustavima. Poseban rezultat radne grupe 3 je da su članovi pridonijeli uspostavi dvaju europskih istraživačkih projekata i sudjeluju u njihovom radu. To su: "Metrologija mreže Sustava pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću u Europi" (2014-2017) i "Mjeriteljstvo za mobilnu detekciju ionizirajućeg zračenja nakon nuklearne ili radiološke nezgode" (2017-2020).

LRKD Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu uspješno sudjeluje u istraživanjima od početka osnivanja grupe “Passivni dozimetrijski sustavi u monitoringu okoline” te u projektu “*PREPAREDNESS*”.

Zahvala

Autori zahvaljuju svim članovima EURADOS radne grupe 3 koji su pridonijeli rezultatima grupe i dozvolili da prikazemo aktivnost grupe u Zborniku 11. Simpozija HDZZ-a. Prvi autor zahvaljuje EURADOS-u za financijsku potporu koja je omogućila sudjelovanje na sastancima radne grupe, a Chiyoda Technol Corporation za financijsku potporu za sudjelovanje na ovom simpoziju.

LITERATURA

- [1] Ranogajec-Komor M, Duch MA, Haninger T, Hraniczky Ch, Dombrowski H, Kleinau Ph, Knežević Ž, Neumaier S, Rodriguez R. Aktivnosti EURADOS organizacije na području dozimetrije čvrstog stanja u okolini. U: Petrinc B, Bituh T, Milić M, Kopjar N, ur. Zbornik radova Desetoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 15-17. travnja 2015; Šibenik, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2015. str. 77-82.
- [2] Neumaier S, Dombrowski H. EURADOS intercomparisons and the harmonisation of environmental radiation monitoring. *Radiat Prot Dosim* 2014;160:297-305.
- [3] Neumaier S, Dombrowski H, Kessler P. Metrology for radiological early warning networks in Europe (“METROERM”) – A Joint European Metrology Research Project. *Health Phys* 2016;111:100-105.
- [4] Camp A, Vargas A. Ambient dose estimation $H^*(10)$ from $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ spectra. *Radiat Prot Dosim* 2014;60:264-268.
- [5] Duch MA, Dombrowski H, Hranitzky Ch, Kleinau Ph, Neumaier S, Ranogajec-Komor M, Rodriguez R. Status of passive environmental dosimetry in Europe. *Radiat Measur* 2017; to be published
- [6] Dombrowski H, Duch MA, Hranitzky Ch, Kleinau Ph, Neumaier S, Ranogajec-Komor M, Rodriguez R. EURADOS intercomparison of passive $H^*(10)$ area dosimeters, *Radiat Measur* 2017; to be published
- [7] Rodriguez R, Gutierrez AM, Fco J, Cuevas B, Lopez Moyano JL, Hranitzky Ch. Preliminary results of a TLD system in the EURADOS intercomparison IC2014env. Proceedings of 4 Congreso Conjunto Sociedad Espanola de Fisica Medica (SEFM) y la Sociedad de Protección Radiológica (SEPR) (in Spanish), 23-26 June 2015; Valencia, Spain. Valencia:SEPR; 2015. pp. 1-2.

EURADOS ACTIVITIES IN ENVIRONMENTAL MONITORING – NEW EUROMET PROJECT

Mária Ranogajec-Komor and Željka Knežević

Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

marika@irb.hr

Task of EURADOS Working Group 3 (WG3) is the coordination of research projects for the correct measurement of ambient dose equivalent $H^*(10)$, dose rate and radioactivity concentrations from artificial sources on top of the natural environmental radiation for different release scenarios.

For these aims in addition to continuous collection of information on the situation in environmental dose monitoring in Europe the group organised more intercomparisons for gamma spectroscopic systems as well as for passive dosimeters. These intercomparisons aimed the harmonisation of area dose rate measurements of radiation monitoring stations in Europe. A major key aspect of the group activities is the work of many WG3 members in two EUROMET Joint Research Projects entitled “Metrology for radiological early warning networks in Europe – METROERM” (2014-2017) and “Metrology for mobile detection of ionising radiation following a nuclear or radiological incident – PREPAREDNESS” (2017-2020). The objectives of the upcoming project are: development of unmanned mobile detection systems for the remote measurement of dose rates and radioactivity concentrations based on drones and helicopters; development and validation of transportable air-sampling systems for quick information on radioactive contamination levels in air; to investigate the metrological relevance of “crowd monitoring” data on dose rate; procedures to measure dose rates of contaminated areas by passive dosimeters; to ensure uptake and knowledge transfer about new instrumentation and procedures to decision makers and dosimetry services.

Acknowledgement

Authors are grateful to members of EURADOS WG3 for their contribution in the activities of the WG3 and for permission for publication of group's achievements in the Proceedings of this Symposium.

THE ROMANIAN SOCIETY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION AND ITS CONTRIBUTION TO THE TRANSPOSITION OF THE COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM IN ROMANIA

Constantin Milu

The Romanian Society for Radiological Protection, Bucharest, Romania

constantinmilu@upcmail.ro

www.srrp.ro

INTRODUCTION

The Romanian Society for Radiological Protection (RSRP) is a professional association of the Romanian specialists in the field of radiological protection, an independent, non-profit and non-governmental organization. The RSRP was founded in May 30, 1990 and it is an Associate Society to International Radiological Protection Association (IRPA) since 1992.

The RSRP has now 78 active members from the whole country. Annually, National Conferences are organized with enlarged participations from several professional domains. In that context, should be mentioned the IRPA Regional Congress for Central and Eastern Europe, which was successfully organized by RSRP in 24 - 28 September 2007, in Braşov, Romania. 15 colleagues from Croatia attended this Congress ten years ago, including the old friends: Maria Ranogajec-Komor, Saveta Miljanić, Djurdjica Milković, Ines Krajcar Bronić, Ivica Prlić and Marija Surić Mihić.

On 17th of January 2014, the Official Journal of the European Union published the Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down the European Basic Safety Standards (EBSS) for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation and repealing Directive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/43/Euratom and 2003/122/Euratom [1]. In the same year, the International Atomic Energy Agency (IAEA) published the new International Basic Safety Standards [2]. Both standards are according to the Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), published in 2007 as ICRP Report No. 103 [3].

As a full member of the European Union (since 2007) and with a technical support from IAEA, Romania starts in 2015 several activities

related to the transposition and the practical implementation of the new standard recommendations.

The title and topics of the last three RSRP's National Conferences were dedicated to this purpose: general principles (2014), public exposure and NORM/TENORM (2015) and occupational exposure (2016). The 2017 meeting will be dedicated to medical exposure.

MATERIAL AND METHODS

Before any elaboration of a new Romanian radiation protection regulation, according to the new international standards and recommendations, an important task for the Romanian Nuclear Regulatory Authority (CNCAN) was to establish the national approach for this process.

For this purpose, four decisions taken by CNCAN have to be mentioned:

- to follow the transposition of the Directive 2013/59/Euratom and not fully the International Basic Safety Standards;
- to modify the Romanian Basic Law No.111/1996, by including in the all new provisions from Directive;
- to repeal the old Fundamental Norms for Radiological Safety (NFSR, 2000) and to elaborate a new document (according to the Directive 59);
- to keep some specific old "Norms" in term of "Guide", but only after their strong modification, regarding title, purpose, definitions, content, formulations, requirements, etc., in agreement with the Directive and to the new Law and the new NFSR.

In medicine, such old Norms are:

- NSR - 11 – Radiological Safety Norms in Diagnostic and Interventional Radiology Practices;
- NSR - 12 – Radiological Safety Norms in Radiotherapy Practice, and
- NSR - 14 – Radiological Safety Norms in Nuclear Medicine Practice.

It was very clear from the beginning that before any elaboration of a new Romanian regulation, the following important tasks have been performed:

- the identification of the new provisions in the revised Euratom Directive;
- the identification of principal gaps in the current regulation;
- the identification of responsibilities for the different competent authorities involved and of the technical regulatory problems;
- the detection of issues and the identification of good practices;

- the identification of topical issues which require further attention, action and activities.

As a useful practical example, in 2014 the Members of the Group of Experts referred to in Article 31 of the Euratom Treaty and of the Working Party MED have identified a list of new provisions in the Directive 2013/59/Euratom, regarding radiological safety in medicine:

- New set of definitions and concepts.
- Increased role of justification principle and consideration of occupational doses in justification and optimization.
- New requirements in relation to exposure of asymptomatic individuals exposed as part of an approved health screening program.
- Use of diagnostic reference levels (including interventional) and regular review.
- Interventional radiology new defined, reflecting the importance of this modality in relation to staff and patient doses.
- Recognition and involvement of the Medical Physics Expert (MPE) and his new role in the modern imaging.
- Definition and recognition of the Radiation Protection Expert (RPE) and of the Radiation Protection Officer (RPO).
- Dosimetric information in all diagnostic system and transfer to the patient report.
- Dosimetric information mandatory for all interventional and CT procedures.
- Prevention, registry and analysis of all accidental or unintended exposures of patients.
- Population dose evaluation taking into account the age distribution and the gender.
- New dose limit for lens of the eyes.
- Old medico-legal exposures removed from medical chapter and a new set of requirements developed for non-medical imaging exposures.
- New criteria of acceptability for equipment, for clinical use.
- Enlarged practical use of the dose constraint concept.
- Education and training dealt with as part of more general requirements in medicine.

With the aim to support CNCAN in the transposition process, the last three Annual National Conferences of the RSRP were dedicated to the Directive 2013/59/Euratom, for specific subjects:

- A. 24 October 2014 – The Council Directive 2013/59/Euratom – General principles;
 - B. 9 October 2015 – The Council Directive 2013/59/Euratom – Practical and Legislative aspects on optimisation of radiation protection of the population;
 - C. 14 October 2016 – The Council Directive 2013/59/Euratom on Occupational Radiation Exposure.
- The 2017 Conference shall be on Medical Exposure.

SOME MAIN RESULTS AND CONCLUSIONS

A) Regarding the general aspects of the Directive:

1. The need of a new set of terms and definitions. Some examples:

- “Planned Exposure Situation”, which has to replace the old term “Practice”.
- For all specific regulation, the term “Guidelines” (or “Regulation”) instead of “Norms”, to avoid confusion with the “Fundamental Norms”, which remain the basic national safety standard for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation.
- The term “SHALL” shall be used in all formulations of all requirements, showing a stronger (mandatory) requirement.
- "Emergency Exposure Situation" instead of "Radiological Accident".
- "Unintended Exposure" instead of "Incident".
- "Exposed worker" instead of "Radiation Worker".
- "Referrer" instead of "Prescriber" of a medical exposure, etc.

2. The change of the licence process, which is now a complicated procedure. A new guidelines on authorization procedures need be elaborated soon, applying the new graded approach to regulatory control (notification, registration, licence) and deciding some exception from authorization (e.g., for possession or for renting a medical radiological equipment).

3. According to the Directive 2013/59/Euratom “competent authority” means an authority or system of authorities designated by Member States as having legal authority for the purpose of this Directive. CNCAN is indeed the only competent authority for radiation protection in Romania, but the specific responsibilities have to be

identified for several "competent authorities" from other fields: medicine, research, nuclear energy, etc.

B) *NORM/TENORM*

An important statement of the Directive refers to the fact that "protection against the natural sources should be fully integrated within the overall requirements; in particular, industries processing materials containing naturally-occurring radionuclides should be managed within the same regulatory framework as other practices". Countries, as well as Romania, have to decide the national list of such industries, to perform measurements and risk estimates and to decide on the need of a further regulatory control.

C) *Occupational radiation exposure.*

A real new task for radiation protection, due to a new equivalent dose limit for lens of eyes, e.g. 20 mSv/y, instead of 150 mSv/y.

REFERENCES

- [1] The Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/43/Euratom and 2003/122/Euratom, The Official Journal of the European Union, 17 January 2014.
- [2] Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards, General Safety Requirements Part 3, STI/PUB/1578, Vienna – International Atomic Energy Agency, 2014
- [3] The International Commission on Radiological Protection (ICRP), International Recommendations of the ICRP, ICRP Report No. 103, 2007.

THE ROMANIAN SOCIETY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION AND ITS CONTRIBUTION TO THE TRANSPOSITION OF THE COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM IN ROMANIA

Constantin Milu

The Romanian Society for Radiological Protection, Bucharest, Romania

constantinmilu@upcmail.ro

www.srrp.ro

The Romanian Society for Radiological Protection (RSRP) is a professional association of the Romanian specialists in the field of radiological protection, an independent, non-profit and non-governmental organization. The RSRP was founded in May 30, 1990 and it is an Associate Society to the International Radiological Protection Association (IRPA) since 1992.

The RSRP has now 78 active members from the whole country and annually organises National Conferences with international participation. As a full member of the European Union (since 2007) and with a technical support from IAEA, Romania since 2015 started several activities related to the transposition and the practical implementation in the country of the new EU and IAEA standards recommendations. In order to support these national efforts, the title and topics of the last three RSRP's National Conferences were dedicated to this purpose: general principles of the Directive 2013/59/Euratom (in 2014), public exposure and NORM/TENORM (2015) and occupational exposure (2016). Meeting that will be organized in 2017 will be dedicated to medical exposure.

In this work the main results and conclusions of these conferences are pointed out, particularly regarding the new terms and definitions in the Directive, the new concepts on radiation protection against the natural radiation and the practical implications for radiation monitoring of the exposed workers, due the strong reduction of the equivalent dose limit to lens of the eyes, from 150 mSv/y to 20 mSv/y.

PREPORUKE I PRIJEDLOZI IRRS MISIJE U HRVATSKOJ

Nevenka Novosel

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb

nevenka.novosel@dzrns.hr

UVOD

Temeljem Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [1], ravnatelj Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS) obvezan je najmanje svakih deset godina provesti samoprocjenu domaćeg zakonodavnog okvira i nadležnih tijela te osigurati međunarodni pregled bitnih segmenata radi kontinuiranog poboljšanja radiološke i nuklearne sigurnosti.

DZRNS je, kao tijelo državne uprave nadležno za poslove radiološke i nuklearne sigurnosti, u travnju 2013. godine podnijelo zahtjev Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju (IAEA) za provođenje *Integrated Regulatory Review Service Mission* (IRRS misija). Samoj IRRS misiji predhodila je osamnaestomjesečna samoprocjena, koja je rezultirala izvješćem koje je sadržavalo prikaz i preliminarnu ocjenu stanja radiološke i nuklearne sigurnosti u Republici Hrvatskoj.

IRRS misija je provedena 6.-17. lipnja 2015. godine. Tijekom IRRS misije provedena je detaljna analiza zakonskih i tehničkih pitanja. IRRS misija je obuhvatila sve značajne teme u području radiološke i nuklearne sigurnosti, a domaći zakonodavni okvir je uspoređen s IAEA standardima i primjerima međunarodne dobre prakse.

Stručni tim IRRS misije je izradio izvješće u kojem se navodi niz preporuka i prijedloga u svrhu poboljšanja radiološke i nuklearne sigurnosti u Republici Hrvatskoj. Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 5. studenog 2015. godine donijela Zaključak kojim se prihvaća izvješće IRRS misije. Temeljem Zaključka, DZRNS je sastavio akcijski plan realizacijom kojeg će se do 5. veljače 2018. godine primijeniti sve preporuke i prijedlozi IRRS misije.

U ovom radu bit će prikazane preporuke i prijedlozi IRRS misije kao i aktivnosti koje poduzima DZRNS kako bi do navedenog roka izvršio zaduženja iz Zaključka Vlade Republike Hrvatske.

PREPORUKE I PRIJEDLOZI IRRS MISIJE

Preporuke (36) i prijedlozi (22) IRRS misije navedeni su i obrazloženi u Izvještaju IRRS misije u Republici Hrvatskoj [2]. Ravnatelj DZRNS objavio je ovaj Izvještaj na internetskoj stranici DZRNS. Također, države članice Europske unije i Europska komisija obaviješteni su o rezultatima provedene samoprocjene i o rezultatima provedenog međunarodnog pregleda.

Preporuke Vladi Republike Hrvatske odnose se na:

- donošenje strategije radiološke i nuklearne sigurnosti i programa njezine provedbe u skladu s *IAEA GSR Part 1 Governmental, Legal and Regulatory Framework for Facilities and Activities*;
- nadopunjavanje zakonodavnog okvira radiološke i nuklearne sigurnosti uključivanjem: odredaba o osiguranju kontinuirane odgovornosti u provođenju djelatnosti koje provodi nekoliko osoba ili organizacija sukcesivno, odredaba koje se odnose na sustav odobravanja djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja koji bi bio sukladan riziku vezanom uz vrstu izvora ionizirajućeg zračenja i djelatnost koja se tim izvorom obavlja (stupnjeviti pristup), odredaba o kriterijima za otpuštanje iz nadzora, odredaba koje propisuju da poštivanje propisa ne oslobađa osobu ili organizaciju odgovornu za postrojenje ili djelatnost od prvenstvene odgovornosti za radiološku i nuklearnu sigurnost;
- osiguravanje da DZRNS ima dovoljno stručnog osoblja i financijskih sredstava potrebnih za potpuno provođenje zakonskih obveza vezanih uz regulatornu kontrolu;
- primjenjivanje odredbe o sigurnom zbrinjavanju radioaktivnog otpada, a posebice o osnivanju i upravljanju Centrom za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, sukladno Strategiji zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva;
- uspostavljanje regulatornog sustava radiološke sigurnosti takvog da uključuje i obavješćivanje, uz definiranje kriterija za slučajeve kada je jedino obavješćivanje dovoljno;
- ovlašćivanje inspektora DZRNS-a za provođenje najavljenih inspekcija;
- preispitivanje uloge DZRNS-a u upravljanju odgovorom na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom na lokaciji nositelja odobrenja, u pokretanju hitnih mjera zaštite i spašavanja na lokaciji nositelja odobrenja koje se odnose na objekte i aktivnosti za koje je odgovoran operater te, u tom smislu, u pružanju informacija javnosti kao jedini ovlašteni izvor;

- prepoznavanje medicinske fizike kao struke na nacionalnoj razini i ustrojavanje specijalizacije iz medicinske fizike kako bi se osigurala zaštita od ionizirajućeg zračenja za pacijente u medicini i dentalnoj medicini;
- definiranje pojma radnika koji sudjeluje u odgovoru na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom uzimajući u obzir sigurnosne standarde IAEA te uspostavljanje programa upravljanja, nadzora i bilježenja doza koje taj radnik primi tijekom odgovora na taj izvanredni događaj. Navedeni program bi trebali primjenjivati svi sudionici odgovora na taj izvanredni događaj, nositelji odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja i nositelji odobrenja za nuklearne djelatnosti te DZRNS;
- osiguravanje da se utvrđene postojeće lokacije s povišenom razinom ionizirajućeg zračenja procijene kako bi se utvrdilo koja su ozračenja radnika i stanovništva od interesa s aspekta zaštite od zračenja, u skladu sa standardima IAEA.

Preporuke DZRNS-u odnose se na:

- uspostavljanje i provođenje postupaka i procedura za analiziranje i objavljivanje lekcija naučenih iz pogonskog i regulatornog iskustva na nacionalnoj i međunarodnoj razini, koje će biti korisne DZRNS-u, drugim državnim tijelima i ovlaštenim organizacijama;
- osiguravanje dovoljnog broja stručnog osoblja i financijskih sredstava te optimalno raspoređivanje na način da DZRNS provodi zakonske obveze sukladno radiološkom riziku vezanom uz određena postrojenja i djelatnosti;
- pripremanje i provođenje sveobuhvatnog plana stručnog obrazovanja kako bi se unaprijedili znanje, vještine i sposobnosti stručnih djelatnika DZRNS-a pri provođenju svih obveza u okviru zakonskih nadležnosti;
- imenovanje osobe odgovorne za koordinaciju i razvoj integriranog sustava upravljanja, koja će biti ovlaštena istaknuti tematske probleme najvišoj razini upravljanja u DZRNS-u;
- uspostavljanje integriranog sustava upravljanja sukladno sigurnosnom standardu *IAEA GS-R-3 The Management System for Facilities and Activities*;
- izradu i objavljivanje pravilnika kojim se utvrđuju detaljni uvjeti za odobravanje lokacije, izgradnje, rada i zatvaranja objekta u kojem bi

se obavljala djelatnost zbrinjavanja radioaktivnog otpada, kako je to propisano Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti;

- uspostavljanje postupaka i procedura koje bi se koristile tijekom rješavanja upravnih postupaka vezanih uz izdavanje odobrenja za obavljanje djelatnosti u slučaju svih vrsta izvora ionizirajućeg zračenja i objekata u kojima se te djelatnosti obavljaju, uzimajući u obzir rizik koji ti objekti i djelatnosti predstavljaju;
- ustanovljavanje inspekcijskog programa razmjernog riziku koji pojedini objekti i djelatnosti predstavljaju, a koji pokriva sva područja koja se tiču radiološke i nuklearne sigurnosti i zaštite od ionizirajućeg zračenja te provođenje tog programa;
- revidiranje Nacrta priručnika za provođenje inspekcijskog nadzora i osiguravanje da pokriva sve elemente inspekcije te njegovo donošenje;
- uspostavljanje detaljne procedure za određivanje i provođenje korektivnih mjera. Svi inspektori DZRNS-a te ostali državni službenici zaposleni u DZRNS-u bi trebali biti osposobljeni za primjenu korektivnih mjera te dobro poznavati procedure za njihovo određivanje i provođenje;
- unapređivanje i jačanje zakonodavnog okvira u pripremi i odgovoru na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom u skladu sa sigurnosnim standardima IAEA tako da se uključi inspekcijski nadzor, nadzor nad provedbom korektivnih mjera i ocjena vježbi pojedinih nositelja odobrenja te pritom uzimanje u obzir rizika koji djelatnost pojedinih nositelja odobrenja predstavlja;
- zahtijevanje da nositelji odobrenja razviju i provode sustav za klasificiranje svih potencijalnih izvanrednih događaja s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom te aktiviranje adekvatne razine odgovora na te izvanredne događaje sukladno sigurnosnim standardima IAEA;
- zahtijevanje da nositelji odobrenja uspostave jasan sustav zapovijedanja i kontrole kako bi se efikasno organizirao sustav odgovora na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom na lokaciji nositelja odobrenja;
- izradu zakonodavne upute kako bi se ubrzao sistematski razvoj odgovora na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom na lokaciji

nositelja odobrenja te procesa DZRNS-a kojim bi se ubrzala sustavna provjera i procjena planova i programa mjera za slučaj izvanrednog događaja nositelja odobrenja;

- razvijanje postupaka DZRNS-a za pripravnost i odgovor na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom u skladu sa sigurnosnim standardima IAEA kako bi DZRNS mogao ispuniti svoju ulogu u slučaju izvanrednog događaja;
- u suradnji s Ministarstvom zdravstva, iniciranje uspostave sustava odgovornosti za provedbu načela opravdanosti u slučaju izlaganja osoba ionizirajućem zračenju u medicini i dentalnoj medicini. DZRNS bi trebao osigurati da se u medicini i dentalnoj medicini odobravaju samo opravdane djelatnosti;
- u suradnji s Ministarstvom zdravstva te profesionalnim i znanstvenim društvima i institucijama, pokrenuti izradu potrebnih smjernica u području medicine i dentalne medicine, u skladu sa zahtjevima danim u *IAEA GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*;
- izmjenu pravilnika kojim su utvrđeni uvjeti uporabe izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini na način da su medicinski fizičari u potpunosti uključeni u sve djelatnosti u medicini i dentalnoj medicini, u skladu sa zahtjevima danim u *IAEA GSR Part 3*;
- osiguravanje da se postojeći propisani zahtjevi vezani uz optimizaciju u medicini i dentalnoj medicini u potpunosti provode te da su zahtjevi koji se odnose na odgovornost medicinskih fizičara, osiguranje kvalitete, provjeru kvalitete i umjeravanje u skladu sa zahtjevima danim u standardima IAEA;
- osiguravanje da se postojeći zahtjevi vezani uz praćenje i očevidnike vezano uz izlaganje osoba ionizirajućem zračenju u medicini i dentalnoj medicini u potpunosti provode u svim djelatnostima u medicini i dentalnoj medicini te dopunjavanje postojećih propisa na način da se poboljša procjena doza pacijenata i bilježenje tih doza, u skladu sa zahtjevima danim u *IAEA GSR Part 3*;
- osiguravanje da se svi zahtjevi vezani uz nenamjerna ozračivanja ili izvanredne događaje s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom u medicini i dentalnoj medicini (a koji uključuju pacijenta) provode u skladu s *IAEA GSR Part 3*;
- uvrštavanje u godišnji plan inspekcijskog nadzora DZRNS-a i inspekcijski nadzor ovlaštenih stručnih tehničkih servisa radi

utvrđivanja obavljaju li stručne poslove za koje su ovlašteni u skladu s uvjetima propisanim za ta ovlaštenja;

- u suradnji s relevantnim tijelima državne uprave i ostalim javnim institucijama, iniciranje formalnog prepoznavanja stručnjaka zaštite od ionizirajućeg zračenja tako da jedan od uvjeta za izdavanje ovlaštenja stručnim tehničkim servisima za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja bude i taj da stručni tehnički servis zapošljava stručnjaka zaštite od ionizirajućeg zračenja;
- preispitivanje zakonskog okvira vezanog za ispuštanje radioaktivnih tvari u plinovitom i tekućem stanju kako bi se osigurala optimizacija radiološke zaštite te zadale dozvoljene granice ispuštanja nositeljima odobrenja koje pokrivaju sva takva ispuštanja;
- osiguravanje da su programi sustavnog praćenja stanja okoliša razvijeni i provedeni u skladu sa standardima IAEA te podržani odgovarajućim zakonodavnim okvirom;
- provjeravanje pravilnika koji se odnose na sanaciju područja kontaminiranih ostatnim radioaktivnim materijalom u skladu sa standardima IAEA.

Prijedlozi Vladi Republike Hrvatske odnose se na:

- razmatranje mogućnosti organiziranja dopunskog stručnog obrazovanja te obnove znanja o primjeni mjera radiološke sigurnosti na način da ne ugrožava efektivnu neovisnost DZRNS-a;
- razmatranje mogućnosti preispitivanja uloga i obveza zadanih DZRNS-u u odgovoru na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom kako bi se izbjeglo ugrožavanje obveza DZRNS-a kao regulatora, pritom uzimajući u obzir standarde IAEA i odgovornosti ostalih tijela državne uprave u odgovoru na taj izvanredni događaj.

Prijedlozi DZRNS-u odnose se na:

- razmatranje mogućnosti provođenja sustavne provjere svih propisa na području radiološke i nuklearne sigurnosti koji su na snazi, kako bi se osigurala cjelovitost i ažurnost zakonodavstva na tom području;
- razmatranje mogućnosti promjene strateškog plana DZRNS-a tako da se uspostavljanje sustava upravljanja kvalitetom proširi u smislu uspostavljanja integriranog sustava upravljanja;
- razmatranje mogućnosti pripreme plana za uspostavljanje, razvoj i primjenu integriranog sustava upravljanja u kojem će prioriteti biti

definiranje odgovornosti za provođenje sustava upravljanja, definiranje ključnih postupaka vezanih uz inspekciju, izdavanje odobrenja i sl. i definiranje interakcije navedenih postupaka;

- razmatranje mogućnosti uspostave sustava odobravanja djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja koji bi bio sukladan riziku vezanom uz tu djelatnost;
- razmatranje mogućnosti rješavanja upravnih postupaka vezano uz izdavanje odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja i dozvola za uporabu istih u smislu provedbe ispitnog postupka, kada je to potrebno, a s ciljem utvrđivanja istinitosti činjenica dostavljenih u dokumentima priloženim zahtjevu za izdavanje tih odobrenja i dozvola, a koje su bitne za razjašnjenje pravog stanja stvari;
- razmatranje mogućnosti procjene programa inspekcije te uvođenja testiranja i mjerenja kao inspekcijskih postupaka;
- razmatranje mogućnosti osiguravanja pravne pomoći inspektorima u provedbi nadzora provedbe korektivnih mjera;
- razmatranje mogućnosti izrade uputa kako bi se pomoglo nositeljima odobrenja koji teže ostvarenju visokog stupnja sigurnosti;
- razmatranje mogućnosti uspostave postupaka i procedura za procjenu propisa na području radiološke i nuklearne sigurnosti, uzimajući u obzir međunarodno usuglašene standarde i povratne informacije o stečenom iskustvu;
- razmatranje mogućnosti procjene pravilnika na području radiološke i nuklearne sigurnosti i njihovo usklađivanje sa sigurnosnim standardom *IAEA GSR Part 3*;
- razmatranje mogućnosti zadavanja vremenskih rokova u kojima je potrebno obavijestiti službu 112 o izvanrednom događaju s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom i pokrenuti odgovor na taj izvanredni događaj;
- razmatranje mogućnosti postavljanja zahtjeva nositeljima odobrenja da uspostave formalne odnose sa službama za odgovor na izvanredni događaj s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom koje nisu na lokaciji nositelja odobrenja, a na čiju pomoć i podršku nositelj odobrenja računa u slučaju izvanrednog događaja na lokaciji nositelja odobrenja;
- razmatranje mogućnosti nastavka napora da se zone pripravnosti oko Nuklearne elektrane Krško harmoniziraju sa slovenskim partnerima, u skladu s relevantnim sigurnosnim standardima IAEA;

- razmatranje mogućnosti ažuriranja intervencijskih razina i generičkih akcijskih razina za poduzimanje zaštitnih mjera danih u Pravilniku o granicama ozračenja (Narodne novine br. 59/13) uzimajući u obzir sigurnosne standarde IAEA;
- razmatranje mogućnosti propisivanja obveznog informiranja pacijenata i osoba koje svjesno i dragovoljno pridržavaju pacijenta i pomažu mu tijekom dijagnostičkih ili intervencijskih pregleda ili postupaka u medicini i dentalnoj medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja, a posebice žena koje doje, o riziku vezanom uz izlaganje ionizirajućem zračenju, u skladu sa zahtjevima danim u *IAEA GSR Part 3*;
- s obzirom da DZRNS do dana završetka IRRS misije nije od nositelja odobrenja u medicini i dentalnoj medicini zaprimio ni jedno izvješće nositelja odobrenja o izvanrednom događaju s gubitkom kontrole nad ionizirajućim zračenjem kao mogućom posljedicom, a koji uključuje pacijenta, razmatranje mogućnosti davanja podrške postupku izvješćivanja na način da se izrade upute i/ili u vidu edukacije zdravstvenog osoblja i medicinskih fizičara;
- razmatranje mogućnosti da se preispita zakonodavni sustav za postojeće situacije izlaganja kako bi se od zahtjeva koji se primjenjuju za profesionalno izložene radnike primijenili samo oni koji su relevantni;
- razmatranje mogućnosti revizije članka 23. stavka 3. Pravilnika o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta te o izvješćima i očevidnicima (Narodne novine br. 41/12, 89/13), u skladu s preporukama propisanim u *IAEA Safety Guide RS-G-1.3 Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, Section 8*;
- u svjetlu uvođenja novih granica ozračenja za očnu leću i razvoja programa zbrinjavanja radioaktivnog otpada, razmatranje mogućnosti stvaranja uvjeta potrebnih da bi procjenjivanje doza ekstremiteta, odnosno određivanje osobnih doznih ekvivalenata $H_p(0.07)$ i $H_p(3)$, kao i procjenu unutarnjeg ozračenja mogli provoditi stručni tehnički servisi registrirani u Republici Hrvatskoj. Relevantni Pravilnik o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima bi trebalo pregledati te procijeniti njegovu usklađenost sa sigurnosnim uputama IAEA;

- razmatranje mogućnosti uvođenja programa kalibracije za sve mjerne instrumente DZRNS-a, uključujući i one za kontinuirano praćenje stanja radioaktivnosti u okolišu.

Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 5. studenog 2015. godine donijela Zaključak kojim se prihvaća izvješće IRRS misije i zadužuje DZRNS i druga tijela državne uprave da provedu preporuke i prijedloge njima upućene do 5. veljače 2018. godine.

U tu svrhu DZRNS je izradio akcijski plan temeljem kojeg su neke preporuke i prijedlozi već realizirani u potpunosti ili djelomično.

Izvršavanje ostalih preporuka i prijedloga vezano je uz izmjene zakonodavnog okvira na području radiološke i nuklearne sigurnosti. Stoga je ravnatelj DZRNS-a početkom 2016. godine osnovao internu Jedinicu za reviziju propisa, koja se bavi izradom prijedloga izmjena i dopuna Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti te izradom prijedloga podzakonskih propisa (uredbe, pravilnici i dr.) u skladu sa Zakonom, direktivama EU i sigurnosnim standardima IAEA. Do sada je, između ostaloga, izrađen Nacrt prijedloga Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti i Nacrt prijedloga Strategije radiološke i nuklearne sigurnosti za razdoblje 2016.-2025. godine i oba nacrtu prošla su postupak savjetovanja sa zainteresiranom javnošću putem portala e-Savjetovanje. Pri izradi Nacrta prijedloga Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti uključena je i stručna javnost putem Povjerenstva, u čijem radu su sudjelovali i predstavnici stručnih društava, pa tako i Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja.

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su preporuke i prijedlozi IRRS misije kao i aktivnosti koje poduzima DZRNS kako bi do zadanog roka izvršio zaduženja iz Zaključka Vlade Republike Hrvatske.

LITERATURA

- [1] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, Narodne novine br. 141/13 i 39/15
- [2] Izvještaj IRRS misije u Republici Hrvatskoj, IAEA-NS-IRRS-2015/09, http://cms.dzrns.hr/news/10680/IRRS_Croatia_final_report.pdf (pristupljeno 20.02.2017.)

RECOMMENDATIONS AND SUGGESTIONS OF THE IRRS MISSION IN CROATIA

Nevenka Novosel

State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

nevenka.novosel@dzrns.hr

According to the Act on Radiological and Nuclear Safety, Director General of the State Office for Radiological and Nuclear Safety (SORNS) is obliged to conduct self-assessment of the national legislative framework and of the competent authorities and to provide for international audit of important segments of the national legislative framework and competent authorities with the purpose of continuous improvement of radiological and nuclear safety.

SORNS, as a state administration body competent for activities pertaining to radiological and nuclear safety, submitted in April 2013 the request to the International Atomic Energy Agency (IAEA) to conduct an Integrated Regulatory Review Service (IRRS) mission. For 18 months SORNS conducted a self-assessment in preparation for the mission, which resulted in the report on review and preliminary evaluation of radiological and nuclear safety situation in the Republic of Croatia.

IRRS mission was held from 6 to 17 June 2015. During the IRRS mission, detailed analysis of legal and technical questions was conducted. The IRRS mission covered all important subjects in the field of radiological and nuclear safety and national legislative framework was compared with IAEA standards and examples of international good practice.

The IRRS team made a report with a number of recommendations and suggestions for the purpose of improvement of radiological and nuclear safety in the Republic of Croatia. On the session dated 5 November 2015, the Government of the Republic of Croatia adopted the Conclusion to accept the report of the IRRS mission. On the basis of this Conclusion, SORNS composed the action plan to implement all recommendations and suggestions of the IRRS mission until 5 February 2018.

In this paper recommendations and suggestions of the IRRS mission are presented, as well as activities of SORNS for fulfillment of the assignments from the conclusion of the Governmental of the Republic of Croatia.

EDUKACIJA I UVJETI ZA PRIZNAVANJE STATUSA MPE U NEKIM ZEMLJAMA EU

Marija Surić Mihić¹, Hrvoje Hršak² i Ivica Prlić¹

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb

msuric@imi.hr

UVOD

Krajem 2013. godine donesena je direktiva *Basic Safety Standards* (BSS) [1] koja je obvezala zemlje članice EU na donošenje zakonodavnog okvira za priznavanje statusa stručnjaka medicinske fizike (eng. *Medical Physics Expert* MPE), a smjernice oko provođenja direktive dane su u zasebnom dokumentu *Radiation Protection No 174 European Guidelines on Medical Physics Expert* [2]. MPE je definiran kao pojedinac ili skupina pojedinaca koji posjeduju nužno znanje, edukaciju i radno iskustvo za rad i savjetovanje vezano uz fiziku zračenja u medicinskom izlaganju. Nadalje, u nacionalnom zakonodavstvu mora biti donesen okvir za priznavanje tih stručnjaka, a zemlja članica EU mora osigurati kontinuitet njihove edukacije (osnovno obrazovanje i cjeloživotno učenje) i dovoljan broj MPE u pojedinim područjima medicine u kojima se koriste izvori zračenja (radioterapija, nuklearna medicina, dijagnostička i intervencijska radiologija, radiokirurgija). S obzirom da okvir za edukaciju MPE znatno varira unutar EU prostora pokrenute su inicijative European Federation of Organisations for Medical Physics (EFOMP) u smjeru harmonizacije edukacije i uvjeta za priznanje statusa MPE unutar EU što bi znatno olakšalo mobilnost ovih stručnjaka.

Neke zemlje članice EU imaju dugu tradiciju angažmana MPE u medicini, a dio zemalja se tek usklađuje s BSS direktivom. U ovom radu prikazan je pregled prakse u nekim državama EU te trenutno stanje u Republici Hrvatskoj.

EDUKACIJSKI I PRAVNI OKVIR ZA PRIZNAVANJE STATUSA MPE

Unatoč činjenici da većina zemalja članica ima uključene medicinske fizičare u područja medicine u kojima se koriste izvori ionizirajućeg zračenja, uvjeti za stjecanje statusa MPE razlikuju se značajno. Također, postoji znatna

razlika u zahtjevima vezanim uz cjeloživotno učenje (eng. *Continuous Professional Development* CPD). U Tablici 1 prikazani su dostupni podaci vezani uz školovanje i uvjete za priznanje statusa MPE u nekoliko zemalja članica EU, za koje su podaci bili dostupni bilo u publikacijama ili su zakonski propisi bili dostupni na engleskom jeziku. Nazivlje u tablici je na engleskom jeziku, a kako je navedeno u korištenoj literaturi.

Tablica 1. Uvjeti za edukaciju i priznavanje statusa MPE u nekim zemljama članicama EU

Država	Edukacija	Dodatni uvjeti za priznanje statusa	CPD
Finska [3-5]	Specijalistička edukacija za bolničkog fizičara (BSc ili MSc fizike, medicinske fizike, tehničke fizike, biofizike ili biomedicineskog inženjerstva)	4 godine praktičnog treninga – staža Kvalifikacija za RPO za opću uporabu zračenja u sektoru medicine	Svaki 5 godina uz 250 bodova
Švedska [6]	MSc medicinske fizike (300 ECTS bodova, 5 godina) PhD program (4 godine) – 1,5 god. teorijske nastave i 2,5 godine izrade disertacije	-	CPD program (5 god.) u suradnji <i>Swedish Society of Radiation Physics</i> i <i>Swedish Hospital Physicist Association</i> sa sveučilištima i odjelima Medicinske fizike – 250 bodova

Slovenija [7,8]	Završen specijalistički ili poslijediplomski studij medicinske fizike	Profesionalne reference odnosno najmanje 5 godina rada u na poslovima medicinske fizike Znanje i profesionalne reference vezano uz uporabu mjerne opreme i provedbu postupaka QC medicinske radiološke opreme	Obnova licence – svakih 5 godina - CPD program MPE minimum 250 bodova
Velika Britanija [9]	Diplomski studij fizike, inženjerstva ili primijenjene matematike ili završen <i>National School of Healthcare Science (NHS) Practitioner Training Programme</i> (BSc) Završen NHS <i>Scientist Training Programme</i> (STP) (3 godine) – MSc	Praktično iskustvo rada u bolničkoj medicinskoj fizici ili kliničkom inženjerstvu – prednost	CPD program - sudjelovanje na znanstvenim konferencijama i radionicama, publiciranje znanstvenih radova, sudjelovanje u znanstvenim projektima, rad u inozemstvu – broj CPD bodova nije propisan (oko 50 godišnje) <i>Consultant healthcare scientist – NHS Higher Specialist Scientific Training (HSST)</i> – 5 godina, uključuje edukaciju na radnom mjestu i doktorski studij

Austria [10]	Završen poslijediplomski studij fizike MSc – 300 ECT bodova (5 godina) Praktično radno iskustvo pod nadzorom mentora i sveučilišni tečaj (3 godine, MSc) MP ≡ EQF level 7+ ≡ ÖGMP QMP	Samostalni rad (2 godine), daljnja edukacija, usmeni ispit (45 min) MPE ≡ EQF level 8 ≡ SMP	Obnova licence svakih 5 godina – ÖGMP komisija – Ministarstvo zdravstva Program ÖGMP CPD – 250 bodova
Mađarska [11]	Edukacija – specijalistički studij medicinske fizike: Osnovno - sveučilišni studij fizike BSc i MSc (3+2 godine) sa 160 različitih praktičnih laborato-rijskih vježbi na medicinskoj opremi PhD u fizici	Praktični rad u bolnici (4 godine), ispit zaštite od zračenja + završni ispit – MP u kliničkoj radijacijskoj fizici	Nije ustanovljen CPD program
Poljska [12]	Diplomski studij fizike (3 godine) Poslijediplomska specijalizacija iz medicinske fizike (3,5 god.) teorijski i praktični dio	-	-

Iz prethodno prikazanog vidi se da postoji veliki prostor za harmonizaciju edukacijskog i pravnog okvira za postizanje statusa MPE unutar granica EU. Osobito je to važno zbog priznavanja kompetencija stručnjaka medicinske fizike i olakšavanja zaposlenja u drugim članicama EU, ali i zbog dosizanja najviših standarda edukacije u području medicinske fizike. Europski kvalifikacijski okvir (EQF) predviđa bazičnu edukaciju najmanje dodiplomskog studija fizike, diplomskog medicinske fizike te najmanje dvogodišnju kliničku praksu u grani medicinske fizike za koju pristupnik traži priznavanje (dijagnostička i intervencijska radiologija, nuklearna medicina ili radijacijska onkologija). Nadalje, pristupnik mora dostići EQF nivo 8 u grani medicinske fizike u smislu samostalnog radnog iskustva u trajanju od najmanje dvije godine. Tek tada može pristupiti postupku priznavanja statusa MPE koji mora obnavljati svakih 5 godina dokazujući kontinuirano profesionalno usavršavanje (CPD).

TRENTNO STANJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj medicinski fizičar prema važećoj regulativi mora imati završen studij fizike ili završeni poslijediplomski studij medicinske fizike s najmanje dvije godine kliničke prakse. No unatoč definiciji pravni okvir za priznavanje statusa stručnjaka medicinske fizike još nije ustanovljen kao ni edukacijski okvir koji nije poslijediplomski znanstveni studij što trenutno poslijediplomski studij Medicinske fizike jest. Nadalje, program praktične edukacije također nije ustanovljen s jasno definiranim programom rada, provjerom znanja i kompetencija. U Hrvatskoj medicinski fizičari trenutno su zaposleni isključivo u kliničkim bolničkim centrima te jednoj privatnoj poliklinici koja provodi radioterapijske postupke. Medicinski fizičar, za razliku od većine kolega u Europi nije priznat kao zdravstveni radnik.

LITERATURA

- [1] Council of the European Union. Council Directive 2013/59/EURATOM laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 98/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29 Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal L-13 of 17.01.2014.
- [2] European Commission. European Guidelines on Medical Physics Expert. Radiation Protection No 174. Luxembourg; 2014

- [3] Decree of the Ministry of Social Affairs and Health on the medical use of radiation (423/2000). [pristup 26.2.2017.] dostupno na <http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/20000423?toc=1>
- [4] Guide ST 1.7 Radiation protection training in health care. [pristup 26.2.2017.] dostupno na <http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/saannosto/ST1-7>
- [5] Guide ST 1.8 Qualifications and Radiation Protection Training of Persons Working in a Radiation User's Organization. [pristup 26.2.2017.] dostupno na <http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/saannosto/ST1-8>
- [6] Jonsson BA. The History, Development and Realisation of Medical Radiation Physics Education in Sweeden. Medical Physics International Journal 2013; 1(2):116-122
- [7] Ionising Radiation Protection and Nuclear Safety Act (OJ RS, No.102/04 – consolidated text, 60/11, 74/15). [pristup 20.2.2017.] dostupno na http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Zakonodaja/SlovenskiPredpisi/ZVISJV_anglesko_besedilo_consolidated_text_končni_za_objavo.pdf
- [8] Pravilnik o uporabi virov sevanja in sevalni dejavnosti. Uradni list Republike Slovenije 27/06. [pristup 26.2.2017.] dostupno na <https://www.uradni-list.si/1/content?id=72276>
- [9] The Ionising Radiation (Medical Exposure) Regulations 2000 (IR(ME)R 2000). [pristup 26.2.2017.] dostupno na http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2000/1059/pdfs/ukxi_20001059_en.pdf
- [10] Stucklschweiger G, Schmidt WF, Wolff U. How to become a medical physicist (MP) in Austria – now and in future – work in progress. In: Hršak H, Budanec M, editors. Proceedings of 7th Alpe-Adria Medical Physics Meeting; 19-21 svibnja 2016.; Zagreb:2016. p. 87
- [11] Pesznyak C, Legrady D, Zarand P, Major T, Aszodi A, Czufzus S. The Hungarian Medical Physics education is five years old. In: Hršak H, Budanec M, editors. Proceedings of 7th Alpe-Adria Medical Physics Meeting; May 19-21, 2016.; Zagreb:2016. p 89
- [12] Kukolovitz P, Bulski W. Specialization in medical physics in Poland. In: Hršak H, Budanec M, editors. Proceedings of 7th Alpe-Adria Medical Physics Meeting; 19-21 svibnja 2016.; Zagreb:2016: p 90

EDUCATION AND RECOGNITION OF MPE STATUS IN SOME EU MEMBER COUNTRIES

Marija Surić Mihić¹, Hrvoje Hršak² and Ivica Prlić¹

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia

msuric@imi.hr

EURATOM Basic Safety Standards Directive (BSS 2013) and European Guidelines on Medical Physics Expert – Radiation Protection 174 give regulatory and educational framework for recognition of Medical Physics Expert (MPE). MPE or medical physicist is recognized in majority of EU member states but educational framework and recognition scheme varies from one country to the other. This presents a problem which is specially emphasized in case of mobility of MPEs within EU space. In many countries MPE is recognized to be a specialist in healthcare. In Republic of Croatia no recognition and educational scheme is established yet, the process is still in preparation. A physicist employed in medical care is not a health professional. It is expected that the regulatory framework would be established till the end of 2017.

STATUS RPE U NEKIM ZEMLJAMA EU

Marija Surić Mihić¹, Hrvoje Hršak² i Ivica Prlić¹

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb

msuric@imi.hr

UVOD

Izvori ionizirajućeg zračenja se koriste u velikom broju djelatnosti, a osobito u medicini neizostavni su dio suvremene medicinske dijagnostike i terapije. Time je dodatno postavljen uvjet na zaštitu od zračenja (ZZ) svih osoba uključenih u takve djelatnosti pri čemu profesionalci koji takvu zaštitu provode moraju posjedovati odgovarajuća stručna znanja, kompetencije i vještine.

Europska komisija je krajem 2013. godine usvojila novu *Basic Safety Standards (BSS) Directive* [1] u kojoj je revidirala prethodni BSS (*Directive 96/29/EURATOM*) koji je u poslovima zaštite od ionizirajućeg zračenja propisivao zahtjeve za angažmanom kvalificiranog stručnjaka (engl. *Qualified Expert – QE*) te kompetencije istog. Novi BSS uvodi pojam stručnjaka za zaštitu od zračenja (engl. *Radiation Protection Expert – RPE*) te propisuje njegovu ulogu u poslovima vezanim uz uporabu izvora ionizirajućeg zračenja. Novi BSS također propisuje razinu znanja, kompetencije i praktične vještine koje mora posjedovati RPE, a osobito zahtijeva od zemalja članica Europske unije da donesu nacionalni okvir za priznavanje statusa RPE te ustroje sustav edukacije i kontinuiranog profesionalnog usavršavanja. Sve zemlje članice direktivu moraju implementirati u nacionalno zakonodavstvo do 6. veljače 2018. Preporuke vezane za priznavanje statusa RPE donijela je i IRPA u *IRPA Guidance on certification of a radiation protection expert* [2]. Na preporuku IRPA *International Labour Organization (ILO)* je službeno uvela zanimanje *Radiation Protection Expert* u *International Standard Classification of Occupations (ISCO)* pod brojem 2263 *Environmental and occupational health and hygiene professionals* [3].

Većina EU članica u svom zakonodavstvu već je dijelom implementirala BSS direktivu, a ovaj rad donosi pregled prakse u nekim državama EU te trenutno stanje u Republici Hrvatskoj.

OKVIR ZA PRIZNAVANJE STATUSA RPE

Iako BSS preporuča minimalne uvjete za priznavanje statusa RPE te priznavanje statusa RPE stečenog u drugoj zemlji članici, praksa pokazuje da je zakonodavni okvir unutar EU prostora različit. Nadalje, čak ni sam naziv *Radiation Protection Expert* nije još uveden u većini EU članica. Tablica 1 prikazuje trenutni status te uvjete za priznavanje statusa u nekoliko zemalja članica EU, za koje su podaci bili dostupni bilo u publikacijama ili su zakonski propisi bili dostupni na engleskom jeziku. Nazivlje u tablici je na engleskom jeziku i to kako je navedeno u korištenoj literaturi.

Tablica 1. Status RPE i uvjeti za priznavanje u nekim zemljama članicama EU

Država	Nadležno tijelo	Naziv	Uvjeti za priznavanje statusa	Rok trajanja ovlaštenja	Obnova ovlaštenja
Slovenija [4,5]	Slovenian Radiation Protection Administration SRPA	Radiation Protection Expert	Fakultetska diploma Min 7 godina iskustva na poslovima ZZ Profesionalne reference u području	5 godina	Profesionalne reference u području ZZ Svaki 5 godina
Finska [6,7]	Radiation and Nuclear Safety Authority STUK	Radiation Safety Officer / RPE	Dodatna edukacija Ispit ovisno o riziku rada s ionizirajućim zračenjem	-	-
Velika Britanija [8-10]	Health and Safety Executive HSE Assessing Bodies	Radiation Protection Advisor	Teorijsko znanje Annex 3HSE Statement; Poznavanje zakonskih propisa; Poznavanje metoda u ZZ; Sposobnost savjetovanja. Min 5 godina iskustva na poslovima ZZ	5 godina	Svaki 5 godina Dokaz o usavršavanju znanja i napredovanju u području ZZ

Država	Nadležno tijelo	Naziv	Uvjeti za priznavanje statusa	Rok trajanja ovlaštenja	Obnova ovlaštenja
Španjolska [11]	Consejo de Seguridad Nuclear CSN	Radiation Protection Expert	BSc u prirodnim znanostima ili diploma inženjerstva ili arhitekture Teorijska edukacija min 300 h Min 3 godine praktičnog iskustva u ZZ + 6 mjeseci za dijagn. radiol.	-	-
Italija [11]	Ovlaštena komisija	Qualified Expert QE	BSc ili MSc u fizici, kemiji ili inženjerstvu Min 6 mjeseci rada pod nadzorom Usmeni ispit pred komisijom	neograničeno	-
Njemačka [11]	Ovlašteno tijelo	Radiation protection commissioner	Edukacija u području ZZ Praktično iskustvo u području ZZ Pohađanje tečajeva organiziranih od ovlaštenih institucija	5 godina	Svaki 5 godina Sudjelovanje na tečajevima koje organiziraju ovlaštene institucije

Kao što se vidi iz tablice, postoje značajne razlike u uvjetima za priznavanje statusa RPE u zemljama članicama EU što dodatno otežava priznanje kvalifikacija stručnjaka prilikom migracija unutar europskog prostora. U sklopu projekta ENETRAP III [12] u ožujku 2013. donesene su smjernice za primjenu BSS direktive, a koje preporučuju minimalnu edukaciju na nivou dodiplomskog studija iz područja fizike, matematike ili inženjerstva, najmanje 3 godine radnog iskustva u području ZZ te dokaze o dodatnim edukacijama iz područja rada. Države članice EU moraju ustrojiti

zakonodavni okvir za priznavanje i obnovu statusa RPE, edukaciju te postupak prihvaćanja priznatih RPE iz drugih zemalja članica EU. Smjernice su vrlo detaljne, ali ostavljaju prostora za uvažavanje specifičnosti potreba i mogućnosti njihove provedbe svake države članice.

TREKUTNO STANJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj poslove iz nadležnosti RPE obavljaju stručnjaci zaposleni u tri ovlaštena stručna tehnička servisa za poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja (OSTS). Oni pružaju usluge dozimetrijskog nadzora izloženih radnika, kontrolu kvalitete izvora ionizirajućeg zračenja, savjetovanja iz područja radiološke sigurnosti, procjenu rizika od izlaganja ionizirajućem zračenju i djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, proračun debljine zaštite, radioekologije i monitoringa, itd. Većina zaposlenih su završili diplomski studij fizike, kemije, prehrambene biotehnologije, kemijski tehnologije, strojarstva itd., a od čega je nekoliko s doktoratom znanosti iz područja Medicinske fizike. Status i priznanje stručnjaka iz područja zaštite od zračenja trenutno nije pravno reguliran, osim što je propisano da za ovlaštenje OSTs mora imati zaposlene najmanje dvije osobe s VSS-om s minimalno 5 godina radnog iskustva na poslovima zaštite od ionizirajućeg zračenja od kojih je jedan fizičar [13]. S obzirom na izmjenu zakonske regulative koja je u postupku, očekuje se donošenje novog pravilnika koji će regulirati prava, obveze te status RPE u skladu sa zahtjevima BSS direktive.

LITERATURA

- [1] COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, on the 5th December 2013.
- [2] International Radiation Protection Association (IRPA). IRPA Guidance on Certification of a Radiation Protection Expert. 2016. [pristup 20.2.2017.] dostupno na http://www.irpa.net/members/IRPA_GUIDANCE_ON_CERTIFICATION_OF_A_RADIATION_PROTECTION_EXPERT_2016.pdf
- [3] International Labour Organisation (ILO). Updating the International Standard Classification of Occupations (ISCO) Draft ISCO-08 Group Definitions: Occupations in Health [pristup 20.2.2017.] dostupno na <http://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/docs/health.pdf>

- [4] Ionising Radiation Protection and Nuclear Safety Act (OJ RS, No.102/04 – consolidated text, 60/11, 74/15) . [pristup 20.2.2017.] dostupno na http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Zakonodaja/SlovenskiPredpisi/ZVISJV_anglesko_besedilo_consolidated_text_končni_za_objavo.pdf
- [5] Pravilnik o pooblašcanju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajočih sevanj (Uradni list RS št. 18/4) (pristup 20.2.2017.) dostupno na <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV4563>
- [6] Guide ST 1.4 Radiation User's Organization. STUK. 2011. [pristup 20.2.2017.] dostupno na <http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/saannosto/ST1-4>
- [7] Guide ST 1.8 Qualifications and Radiation Protection Training of Persons Working in a Radiation User's Organization. STUK. 2016. [pristup 20.2.2017.] dostupno na <http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/saannosto/ST1-8>
- [8] The Ionising Radiations Regulations 1999 (No. 3232) [pristup 20.2.2017] dostupno na <http://www.legislation.gov.uk/ukxi/1999/3232/contents/made>
- [9] HSE statement on radiation protection advisers. [pristup 20.2.2017.] dostupno na <http://www.hse.gov.uk/radiation/rpnews/statementrpa.htm>
- [10] Guidance on the Criteria of Core Competence Contained in HSE's Statement of Radiation Protection Advisers. [pristup 20.2.2017.] dostupno na <http://www.hse.gov.uk/radiation/rpnews/finalguidance.pdf>
- [11] International Radiation Protection Association (IRPA). IRPA Guidance on certification of a Radiation Protection Expert. 2016. [pristup 20.2.2017.] dostupno na http://www.irpa.net/members/IRPA_GUIDANCE_ON_CERTIFICATION_OF_A_RADIATION_PROTECTION_EXPERT_2016.pdf
- [12] European Network for Education and Training in Radiation Protection (ENETRAP). European Guidance on the Implementation of the Requirements of the Euratom BSS with respect to the Radiation Protection Expert and Radiation Protection Officer. ENETRAP III Project; 2016. [pristup 20.2.2017.] dostupno na <http://euterp.eu/uploaditems/ENETRAPIII/ENETRAP-III-European-Guidance-Document-01-03-2016.pdf>
- [13] Pravilnik o ovlašćivanju stručnih tehničkih servisa za poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja, Narodne novine Republike Hrvatske 72/2011; 2011.

RPE STATUS IN CERTAIN EU MEMBER COUNTRIES

Marija Surić Mihić¹, Hrvoje Hršak² and Ivica Prlić¹

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia

msuric@imi.hr

EURATOM Basic Safety Standards Directive (BSS 2013) required Member States to bring into force laws, regulations and administrative procedures to recognize Radiation Protection Experts (RPEs) as individuals or groups of individuals who have knowledge, training and experience to provide radiation protection advice aimed at ensuring the effective protection of all individuals. In the EU Member States, requirements for an RPE's skills, education and training, work experience, recognition scheme and retention of status vary significantly. This makes the mobility of radiation protection specialists within Europe difficult. In Croatia, the role, functions and duties of RPEs are performed by experts employed in licensed Technical Support Organizations (TSOs). The regulatory scheme and requirements for recognition of RPEs is not been established yet, but are expected to be brought by 6 February 2018.

IMPLEMENTACIJA ZNANOSTI O ZRAČENJU U RAZVOJ I PRIJENOS RADIJACIJSKE TEHNOLOGIJE ZA OSIGURANJE MIKROBIOLOŠKE ISPRAVNOSTI RAZLIČITIH MATERIJALA

Branka Mihaljević i Katarina Marušić
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
mihozeg@irb.hr

UVOD

Radijacijska tehnologija temelji se na primjeni postupaka ozračivanja materijala visokoenergetskim gama zračenjem radioaktivnog izotopa, najčešće ^{60}Co , odnosno zračenjem ubrzanih elektrona generiranih linearnim akceleratorima elektrona. Postupak ozračivanja podrazumijeva izlaganje materijala u polje zračenja unaprijed određeno vrijeme koje određuje količinu energije zračenja koja će se apsorbirati u materijalu. Apsorpcijom energije pobuđuje se nastajanje reaktivnih čestica koje iniciraju lančane kemijske reakcije i time kemijske promjene. Najveći učinak ionizirajuće zračenje ima kada tvar koja apsorbira energiju ima relativno veliku molekularnu masu te kada je prinos kemijske promjene velik. Stoga zračenje nalazi svoju primjenu za sintezu ili modifikaciju umjetnih polimernih materijala te za degradaciju bioloških makromolekula. Zračenje je neselektivna metoda kojom se djeluje na sve molekule, a zbog svoje kompleksne strukture najviše pucaju molekule DNK. Ostale molekule kao što su ugljikohidrati, bjelančevine, masti znatno su manje i bez oštećenja podnose određene doze zračenja. Stoga, namjernim ozračivanjem mikrobiološki kontaminiranih materijala djelotvorno se uklanjaju mikroorganizmi nepoželjni u različitim materijalima. Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD) na Institutu Ruđer Bošković (IRB) je jedini laboratorij u Hrvatskoj koji se bavi fundamentalnim istraživanjima u radijacijskoj kemiji i dozimetriji, primjenskim istraživanjima koristeći različite vrste i energija zračenja te radijacijskom tehnologijom.

Gama zračenje ^{60}Co koristi se u LRKD-u već od 1958. godine. Prvi izgrađeni uređaj za ozračivanje služio je za znanstvena istraživanje učinaka zračenja, napose u kemijskim sustavima baziranim na otopinama etanol-klorbenzena (ECB) (ISO/ASTM 51538, 2002) [1] koji su kasnije poslužili

za otkriće kemijskog dozimetra za polja visokih doza gama zračenja [2]. Rezultati istraživanja pružali su i brojne mogućnosti primjene zračenja nekonvencionalnog izvora energije za poticanje željenih kemijskih promjena [3-7]. Primjer najčešće primjene zračenja ^{60}Co je sterilizacija medicinskih potrepština, opreme i pribora za jednokratnu uporabu, kao što su igle, štrcaljke, skalpeli, kateteri, epruvete, petrijeve zdjelice itd. te različiti ortopedski implantati. Zračenje se također primjenjuje u farmaceutskoj industriji za mikrobiološku dekontaminaciju farmaceutskih pripravaka, sirovina i ambalaže.

Jedna od većih primjena zračenja je zaštita i očuvanje predmeta kulturne i umjetničke baštine od nametnika koji bi mogli uzrokovati njihovo propadanje. U suradnji s Hrvatskim restauratorskim zavodom i drugim ustanovama zahvaljujući gama zračenju na IRB-u spašeno je nekoliko tisuća drvenih skulptura, dijelova oltara, uspješno su se obradili povijesni tekstilni predmeti te mnogi predmeti kulturne i umjetničke baštine sačinjeni od raznovrsnih materijala [8]. Već dugi niz godina LRKD sudjeluje u intenzivnoj međunarodnoj suradnji na projektima zaštite kulturne baštine primjenom ionizirajućeg zračenja pod pokroviteljstvom Međunarodne Agencije za atomsku energiju (IAEA) koja je nedavno započela s financiranjem novog ciklusa znanstvenih projekata s ovom tematikom.

Jedna od prednosti primjene gama zračenja pred ostalim metodama mikrobiološke dekontaminacije, pasterizacije i sterilizacije je prodornost gama zračenja koje prodire u sve dijelove materijala. Bitno je i da se pri obradi ne povisuje temperatura pa se mogu sterilizirati i izrazito termolabilni materijali. Primjerice, zračenju bi se mogao izložiti i sladoled, a da se ne odmrzne. Na panoramskom uređaju za ozračivanje najčešće se obavlja pasterizacija suhih namirnica, kao što su čajevi i začini. Bitno je naglasiti da nisu sve namirnice pogodne za zračenje, niti da se zračenjem može popraviti već pokvareni proizvod. Međutim, kvaliteta mikrobiološki kontaminiranih namirnica može se zračenjem poboljšati snižavanjem količine eventualno prisutnih mikroorganizama do dopuštenih granica i tako namirnicu vratiti u ispravno stanje. Zračenjem se mogu učinkovito pasterizirati namirnice, spriječiti njihovo kvarenje te postići njihovu higijensku i zdravstvenu ispravnost. Svaka obrada proizvoda radi se pod kontroliranim uvjetima, što znači da se za svaki proizvod određuje odgovarajuća doza zračenja, kako bi se postupak pasterizacije učinkovito proveo, a da se pritom ne bi promijenio kemijski sastav, nutritivna vrijednost, okus ili miris.

Da bi se radijacijske metode mogle dalje razvijati i opravdano primjenjivati potrebno je postići njihovu optimiziranost i učinkovitost. Ograničenost metode temelji se na dozi tj. dozu treba podesiti tako da i najmanja doza, učinkovita protiv čimbenika biorazgradnje, istovremeno bude manja od doze koja bi izazvala degradaciju materijala. Kako bi se to postiglo nužna su znanstvena i često interdisciplinarna istraživanja učinaka ionizirajućeg zračenja na kemijska i fizička svojstva odabranih materijala koji se moraju unaprijed poznavati prije same primjene zračenja.

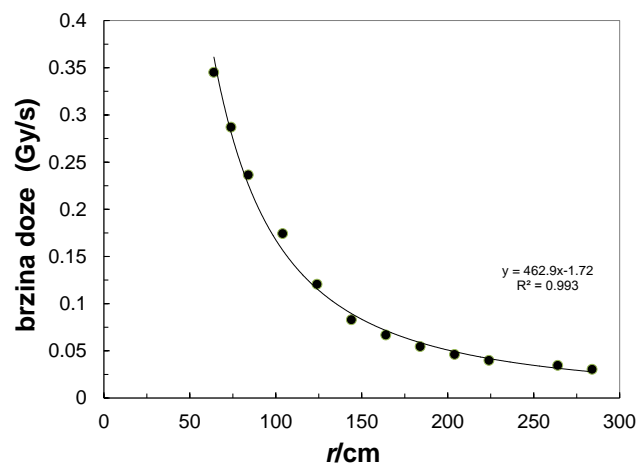
OPIS PANORAMSKOG UREĐAJA ZA OZRAČIVANJE

Panoramski uređaj za ozračivanje je jedini uređaj takve vrste ne samo u Hrvatskoj nego i u regiji. Cilindričnog je oblika, smješten u podzemnoj komori koja je zaštićena najmodernijim alarmnim sustavom i pod video je nadzorom. Kroz slojeve zaštite od zračenja prolaze cijevi vodilice, kroz koje se kreću nosači izvora iz sigurnog u radni položaj. Svaki nosač izvora je spojen s vertikalnom zaštitom, a ova s čeličnom sajлом koja visi na prstenastom nosaču izvora. Prstenasti nosač izvora je posebnom bravom spojen na uređaj za podizanje i spuštanje izvora. Izvor se podiže u radni ili spušta u sigurni položaj iz komandne sobe odijeljene od komore sa zadovoljavajućom zaštitom od zračenja. Komora je pravokutnog oblika i u njoj se može smjestiti materijal volumena do oko 6 m³.

OPTIMIZIRANOST PROCESA OZRAČIVANJA

Za sigurnost da izvor zračenja emitira određenu količinu energije koja će biti apsorbirana materijalom nužno je odrediti raspodjelu doza zračenja koje se šire od centra izvora radijalno u prostoru s izloženim materijalom, duž vertikalnih ravnina na određenim udaljenostima od vertikalne osi izvora te duž horizontalnih ravnina na različitim udaljenostima od poda komore. Topografija polja zračenja izmjerena je pomoću kemijskog dozimetrijskog sustava s 10 %-tnim ECB. S obzirom na geometriju izvora polje zračenja je cilindrično. Ako se pretpostavi da je izvor centriran u točki, brzina doze bi se smanjivala s radijusom (r) prema funkciji $f(1/\sqrt{r})$. Ovisnost brzine doze (u vodi) o r izmjerena u referentnoj horizontalnoj ravnini, tj. ravnini koja je udaljena 72 cm od poda komore i koja prolazi kroz središte centra cilindra, prikazana je na Slici 1. Rezultati pokazuju da je brzina doze na panoramskom izvoru, koji je ustvari oblika valjkastog kaveza, obrnuto proporcionalna radijusu $r^{1,72}$:

$$\log P = 2,666 + 1,72 \log r \quad (\text{Gy/s}) \quad (1)$$



Slika 1. Raspodjela brzine doze u vodi u prostoru 72 cm iznad poda komore u ovisnosti o udaljenosti od centra izvora ^{60}Co , na dan 01.04.2016.

OGRANIČENOST PROCESA OZRAČIVANJA

Za postizanje željenog učinka dovoljno je izlaganje minimalno potrebnoj dozi zračenja koja se određuje nakon znanstvenih istraživanja fizičko-kemijskih promjena u materijalu u ovisnosti o apsorbiranoj dozi. Zahvaljujući interdisciplinarnoj znanstvenoj suradnji sa znanstvenicima iz područja mikrobiologije te prethodnim istraživanjima na području radiobiologije, dolazi se do doza zračenja preporučljivih u primjeni radijacijskih postupaka. Pouzdano se zna da je doza od 25 kGy dovoljna za radijacijsku sterilizaciju (ISO/FDIS 11137-2006). Za suzbijanje gljivica i plijesni obično su dovoljne manje doze od 2-10 kGy, ovisno o početnoj mikrobiološkoj kontaminaciji i osjetljivosti na zračenje pojedine vrste. Nedavno je pokazano da je zračenje učinkovito za smanjenje koncentracije aflatoksina AFB1, mikotoksina proizvedenog plijesnima iz roda *Aspergillus*: s primjenom doze od 5 kGy razgrađuje se oko 76 % AFB1, dok se s većom dozom od 10 kGy ovaj mikotoksin može efikasno u potpunosti ukloniti iz prirodno kontaminiranih materijala [9]. Međutim, na primjeru sjemena industrijske konoplje kontaminiranog različitim plijesnima pronađeno je da je doza od 10 kGy dostatna za značajno smanjenje ukupnih plijesni, no za učinkovito uklanjanje pojedinačnih vrsta plijesni nužna je veća doza (nepublicirani rezultati). Doza od 10 kGy često je i više nego dostatna i za radijacijsku dezinfestaciju i dekontaminaciju većine predmeta kulturne i umjetničke baštine složenih od različitih vrsta materijala.

Međutim, prije primjene zračenja nužno je poznavati svojstva svakog od gradivnog materijala nakon zračenja, napose onih koji su nerijetko dodani u cilju ukrašavanja ovih predmeta [10].

ZAKLJUČAK

Radijacijsko-kemijska znanstvena istraživanja učinaka ionizirajućeg zračenja na materijale nude nove spoznaje o reakcijama visokoreaktivnih vrsta i kemijskim promjenama koje one iniciraju te mogućnosti primjene izvora zračenja. Radijacijski postupci su široko primjenjive fizikalne nekontaktne metode. Tehnologija je jednostavna, brza, jeftina i budući nema radioaktivnog otpada nije štetna za okoliš. Zato ne čudi njena sve veća primjena i u gospodarstvu.

LITERATURA

- [1] ISO/ASTM51538-09, Standard Practice for Use of the Ethanol-Chlorobenzene Dosimetry System, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002, www.astm.org.
- [2] Ražem D, Miljanić S, Dvornik I. Chemical Dosimetry. In: Paić G, ed. Ionizing Radiation: Protection and Dosimetry. Boca Raton, Florida: CRC Press, INC, 1988. Str. 157-201.
- [3] Matić S, Mihoković V, Katušin-Ražem B, Ražem D. The eradication of Salmonella in egg powder by gamma irradiation. J Food Prot 1990;53:111-114.
- [4] Katušin-Ražem B, Mihaljević B, Ražem D. Lipid test. Nature 1990;345:6276:584.
- [5] Ražem D, Katušin-Ražem B. The effects of irradiation on controlled drug delivery/controlled drug release systems. Rad Phys Chem 2008;77:288-344.
- [6] Katušin-Ražem B, Mihaljević B, Ražem D. Microbial decontamination of cosmetic raw materials and personal care products by irradiation. Rad Phys Chem 2003;66:309-316.
- [7] Mihaljević B, Ražem D. Primjena načela radijacijske kemije u postupcima pročišćavanja industrijskih otpadnih voda. Kem ind 2001;50:11-21.
- [8] Katušin-Ražem B, Ražem D, Braun M. Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia. Rad Phys Chem 2009;78:729-731.
- [9] Markov K, Mihaljević B, Domijan A-M, Pleadin J, Delaš F, Frece J. Inactivation of aflatoxigenic fungi and the reduction of aflatoxin B1 in vitro and in situ using gamma irradiation. Food control 2015;54:79-85.
- [10] Marušić K, Pucić I, Desnica V. Ornaments in radiation treatment of cultural heritage: Color and UV-vis spectral changes in irradiated nacre. Rad Phys Chem 2016;124:62-67.

IMPLEMENTATION OF RADIATION RESEARCH IN DEVELOPMENT AND TRANSFER OF RADIATION TECHNOLOGY FOR THE MICROBIOLOGICAL SAFETY ASSURANCE OF VARIOUS MATERIALS

Branka Mihaljević and Katarina Marušić
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
mihozeg@irb.hr

The electronic systems of atoms and molecules of some substances absorb the high energy of gamma irradiation and initiate the formation of reactive species, which induce chemical reactions. The largest effect of ionizing radiation on a material is achieved when the substance has relatively high molecular weight and when the yield of the chemical change is large. Therefore, radiation is applied for the synthesis and modification of synthetic polymer materials, and degradation of biomacromolecules such as DNA. Irradiation is a non-selective method, which applies on all molecules. Because of their complex structure, DNA molecules break mostly. Other molecules, like carbohydrates, proteins or fats are considerably smaller molecules and thus endure radiation to a certain dose without damage. Therefore, intentional exposure of microbiologically contaminated materials to ionizing radiation effectively removes undesirable microorganisms in a variety of materials.

Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory at the Ruđer Bošković Institute focuses on fundamental research in radiation chemistry and dosimetry, applicative research using different types and energies of radiation and radiation technologies.

The lecture will present how radiation methods meet ethical criteria and demonstrate their justification, optimization, efficiency and limitations. The technology is simple, fast, and inexpensive and since there is no radioactive waste it is not harmful to the environment. It is therefore not surprising that its applications are increasing.

HRVATSKA NAMJERAVA PREUZETI POLOVICU RADIOAKTIVNOG OTPADA IZ NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

Alemka Knapp, Ivica Levanat i Diana Šaponja-Milutinović

Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb

ivica.levanat@tvz.hr

UVOD

Kao suvlasnica Nuklearne elektrane Krško (NEK) Hrvatska je, prema Međudržavnom ugovoru o NEK [1], obavezna ravnopravno i u dogovoru sa Slovenijom zbrinjavati radioaktivni otpad (RAO) iz elektrane. Nakon punog desetljeća pasivnog hrvatskog odnosa prema toj obavezi, 2014. godine Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS) je izradio prijedlog, a Sabor usvojio Strategiju zbrinjavanja RAO [2] (dalje: Strategija).

Među ciljeve Strategije uvrštena je gradnja objekata u Republici Hrvatskoj (RH) za preuzimanje polovice RAO iz NEK. Međutim, Strategija neuvjerljivo obrazlaže potrebu za preuzimanjem RAO iz NEK, primjerice tvrdnjom da će „RH i RS morati fizički preuzeti“ svaka polovicu RAO bez obzira na to hoće li postići dogovor o njegovom zajedničkom odlaganju.

Autori ovoga teksta na prošlom su Simpoziju HDZZ-a osporavali tu tvrdnju. U međuvremenu, na sjednici Vlade RH od 12. 10. 2016. godine, usvojeno je Izvješće DZRNS u kojemu se najprije navodi slovenski poziv Hrvatskoj „da se pridruži izgradnji odlagališta Vrbina i svoju polovicu RAO ostavi u Sloveniji“, a potom se zaključuje da je navedeni poziv „za Hrvatsku neprihvatljiv“. Odbijanje te ponude konačno razjašnjava da Hrvatska svojevoljno namjerava preuzeti polovicu RAO iz NEK iako to ne bi morala.

Iz obrazloženja se, između ostalog, razabire da je to u hrvatskom nacionalnom interesu, jer će se sredstva za zbrinjavanje toga RAO uložiti u hrvatsko gospodarstvo umjesto da se utroše u preskupi slovenski projekt.

ŠTO RH PODUZIMA DA BI MOGLA PREUZETI RAO IZ NEK

U proljeće 2015. godine DZRNS započinje službenu komunikaciju s Općinom Dvor o uspostavi skladišta i odlagališta RAO (Centra za zbrinjavanje RAO) na njezinom teritoriju, koja se nije pokazala uspješnom.

U siječnju 2016. godine DZRNS objavljuje Prijedlog Nacionalnog programa provedbe Strategije [3] (u daljnjem tekstu: Prijedlog NP), a 8. veljače otvara javnu raspravu o „Strateškoj studiji utjecaja na okoliš i Nacrtu prijedloga Nacionalnog programa“. Prijedlog NP bavi se uspostavom dvaju odvojenih skladišta RAO na lokaciji vojno-skladišnog kompleksa (VSK) Čerkezovac u Općini Dvor u narednom desetogodišnjem razdoblju.

Najprije se planira „brzopotezna“ uspostava središnjeg skladišta „institucionalnog RAO i iskorištenih izvora (u nastavku IRAO)... u jednom od postojećih skladišnih objekata na lokaciji Čerkezovac“ za otpad iz RH. Terminski plan NP predviđa da će skladište dobiti uporabnu dozvolu u prvom dijelu 2017. godine i početi preuzimati IRAO iz Zagreba iste godine. Plan je očito „optimistički“ nerealan, naravno da neće!

Potom se planira postupna uspostava dugoročnog skladišta za hrvatsku polovicu NSRAO¹ iz NEK, a iz sitnog teksta terminskih planova može se zaključiti da se namjerava izgraditi novi objekt (Tablica 1).

Tablica 1. Iz terminskog plana za skladište NSRAO iz NEK

Vrijeme	Aktivnost
Kraj 2022. godine	Završava izgradnja skladišta
Početak 2023. godine	Počinje uvoz NSRAO iz NEK
Druga polovica 2023. godine	Uporabna dozvola za skladište

Ovaj dio terminskog plana posve je nerazumljiv. Kako DZRNS zamišlja da bi slovensko regulatorno tijelo moglo odobriti izvoz RAO u Hrvatsku prije nego što hrvatsko skladište dobije uporabnu dozvolu? Ovakvo planiranje očito ugrožava strateško opredjeljenje RH da preuzme polovicu NSRAO iz NEK.

Usto, slovensko regulatorno tijelo će zacijelo razmatrati i planove za odlaganje toga otpada. U tekstu NP opisuje ih lakonska rečenica, koja bez ikakvih rokova samo kaže da će se na Trgovskoj gori „... odabrati optimalna mikrolokacija za odlaganje NSRAO“. Umjesto toga, NP bi trebao precizirati da će točna lokacija biti odabrana prije 2023. godine, jer bi i to mogao biti preduvjet za odobravanje izvoza RAO iz Slovenije u Hrvatsku.

¹ RAO koji bi se odlagao u slovenskoj Vrbini ili u hrvatskom odlagalištu u Općini Dvor je nisko i srednje radioaktivni otpad, skraćeno NSRAO.

SPECIFIČNI HRVATSKI I SLOVENSKI NACIONALNI INTERESI

Prema Međudržavnom ugovoru o NEK, Hrvatska i Slovenija trebale bi preuzeti svaka po polovicu akumuliranog NSRAO iz NEK u periodu od 2023. do 2025. godine ako u međuvremenu ne postignu dogovor o zajedničkom rješenju za njegovo odlaganje. Takav dogovor nije nimalo vjerojatan, što se vidi iz:

- sadašnjih strateških opredjeljenja dviju država (svaka želi svoje nacionalno odlagalište) te iz
- do sada iskazane volje za dogovaranjem (Slovenija, nakon desetak godina rada na projektu svojeg odlagališta, tek 2015. godine upućuje Hrvatskoj prvi i neprecizan poziv da se pridruži tome projektu, o čemu Vlada RH 2016. godine prihvaća negativno očitovanje DZRNS, a i to zasad samo u internom dokumentu).

To, međutim, ne znači da će Hrvatska automatski „dobiti svoju polovicu NSRAO iz NEK“, jer se radi o prekograničnom prijevozu RAO koji regulira zakonski obvezujuća Zajednička konvencija o ING i RAO [4] (kojoj su obje države pristupile) u članku 27:

(III) ugovorna stranka, koja je zemlja odredišta, pristat će na prekogranični prijevoz samo ako ima administrativna i tehnička sredstva, kao i upravnu strukturu, potrebnu za zbrinjavanje...;

(IV) ugovorna stranka, koja je zemlja porijekla, odobrit će prekogranični prijevoz samo ako je uvjerena u ispunjavanje uvjeta navedenih u podstavku (III)... (podcrtali autori).

Ne treba očekivati da će Slovenija olako i neodgovorno odobriti izvoz NSRAO u RH. Iako će odluku zacijelo donositi temeljem objektivnih stručnih kriterija, ako ne odobri izvoz Slovenija će možda osigurati hrvatsko sufinanciranje svojega skupog projekta odlaganja na Vrbini. Takvu mogućnost može otkloniti samo cjelovit i uvjerljiv hrvatski nacionalni program zbrinjavanja RAO, uz puno ostvarenje svih potrebnih pretpostavki za uvoz NSRAO iz Slovenije prije 2023. godine.

KOMUNICIRANJE S LOKALNOM ZAJEDNICOM DVOR

U travnju 2015. godine ravnatelj DZRNS je na otvorenoj sjednici općinskog vijeća Općine Dvor prezentirao plan odlaganja RAO na području Trgovske gore. Prema navodu na Internet stranici <http://radioaktivniotpad.org>, a koju uređuje Fond za financiranje razgradnje NEK, tom je prilikom „pojašnjeno kako se konačna odluka o lokaciji Centra za zbrinjavanje NSRAO može donijeti samo uz suglasnost lokalne zajednice“ [5].

Nakon toga su mediji u više navrata izvještavali o protivljenju stanovnika te i okolnih općina, kao i o protestima različitih udruga. Uslijedilo je kraće zatišje, da bi se nakon otvaranja javne rasprave u veljači 2016. godine ponovo pojavile vijesti o protivljenju i protestima protiv RAO.

Primjerice, HRT izvještava 18. veljače: „Stanovnici Dvora i okolice više su puta rekli NE izgradnji odlagališta nuklearnog otpada na Trgovskoj gori, no njihov glas kao da nitko ne čuje. I danas su se okupili, a bilo je i povišenih tonova“.

Slično tome, i drugi hrvatski mediji dosta su površno izvještavali o stajalištima stanovnika Općine Dvor, pa se tek ponegdje (npr. na Internet stranici Hrvatske seljačke stranke) može naći preciznija tvrdnja da „su se kroz zborove Mjesnih odbora izjasnili da ne žele odlagalište RAO“.

ZAKLJUČAK

Namjera RH da 2023. godine počne preuzimati NSRAO iz NEK operativno je opisana u Prijedlogu NP na dosta neuvjerljiv način. Usto, u vrijeme dovršavanja ovoga teksta (sredina veljače 2017. godine), Prijedlog tek „čeka“ usvajanje od strane Hrvatske vlade iako je javna rasprava završila prije 8 mjeseci.

Ako prijedlog i bude doraden prije usvajanja, ne mogu se – bez koncipiranja posve novoga NP – promijeniti neke važne značajke ukupnog projekta kojeg DZRNS vodi na specifičan način, a koji ozbiljno odudara od „dobre prakse i najviših standarda“ (na što se DZRNS deklarativno poziva) i koji ostavlja dosta prostora Sloveniji da ne odobri izvoz RAO u Hrvatsku:

- a) Lokalna zajednica se protivi dovoženju RAO na svoj teritorij

Zacijelo postoje formalno-pravne pretpostavke u hrvatskoj regulativi da se postrojenja za RAO uspostave u općini Dvor i bez pristanka lokalne zajednice (npr. infrastrukturni objekt nacionalnog značaja ili nešto slično). No, tek treba vidjeti hoće li Vlada RH odlučiti da na taj način operativno provede zamisao DZRNS, nasuprot obećanju koje je ravnatelj DZRNS dao lokalnoj zajednici i nasuprot praksi u drugim državama EU.

- b) Lokacija planiranih skladišta RAO nalazi se unutar vojno-skladišnog kompleksa u koji obični građani nemaju pristup

U vrijeme javne rasprave o Prijedlogu NP javnost nije imala pristupa u VSK Čerkezovac, niti su bile javno dostupne ikakve snimke s lokacije, barem snimke postojećih starih objekata koje NP namjerava „prenamijeniti“ u dugoročno skladište IRAO (Slika 1). O čemu se tu uopće moglo raspravljati u javnoj raspravi? DZRNS je takvim pristupom ostvario razinu netransparentnosti postupka uspostave skladišta RAO nepoznatu u EU, a koju dodatno pojačava dugotrajna šutnja o toku i rezultatima javne rasprave.



Slika 1. Stvarnost i fikcija: Javnost nema pristupa na lokaciju Čerkezovac, a umjesto stvarne slike, DZRNS objavljuje kompjuterski generiranu sliku planirane adaptacije nekog (kojeg?) starog skladišta

c) Lokaciju za odlagalište tek treba odabrati, u kojemu roku?

Da se radi samo o odlaganju hrvatskog IRAO, planovi za uspostavu odlagališta bili bi interna hrvatska stvar. No, smije li (da i ne pitamo „hoće li?“) slovensko regulatorno tijelo prije 2023. godine odobriti izvoz NSRAO iz NEK u državu koja se u svom nacionalnom programu nije obavezala do tada barem odrediti točnu lokaciju za odlaganje toga otpada?

Naravno, ovo će pitanje postati relevantno tek ako RH uspije uspostaviti skladište za NSRAO iz NEK u lokalnoj zajednici koja mu se protivi i to ranije nego što je predviđeno u Prijedlogu NP. A čak ako to i uspije, posve nepotreban propust da se u međuvremenu precizira lokacija odlagališta mogao bi osujetiti namjeru preuzimanja NSRAO iz NEK.

LITERATURA

- [1] Ugovor između Vlade RH i RS o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju NEK, NN MU 9/02
- [2] Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, NN 125/14
- [3] Prijedlog Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, http://cms.dzrns.hr/news/10772/Nact_prijedloga_NP-RAO.pdf, (14. 02. 2017.)
- [4] Zajednička konvencija o sigurnosti zbrinjavanja istrošenog goriva i sigurnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada, NN MU 3/99
- [5] <http://radioaktivniotpad.org/predstavljen-plan-zbrinjavanja-radioaktivnog-otpada-na-lokaciji-trgovska-gora>, (14. 02. 2017.)

CROATIA INTENDS TO TAKE HALF OF THE RADIOACTIVE WASTE FROM THE NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO

Alemka Knapp, Ivica Levanat and Diana Šaponja-Milutinović

Zagreb University of Applied Sciences, Zagreb, Croatia

ivica.levanat@tvz.hr

Croatian government has recently adopted a report on radiological and nuclear safety, which finally clarifies that Croatia prefers to take its share of radioactive waste (RW) from the Nuclear Power Plant (NPP) Krško and manage it in Croatia rather than in the Slovenian repository. The choice is motivated mainly by the benefits to Croatian economy.

Realization of this intent depends on the National RW Management Program, though not only on its provisions drafted in January 2014, but also on the process of its adoption (not yet completed), including the public debate (no information to public in 8 months after it ended).

According to the bilateral Slovenian-Croatian Agreement on the NPP, the accumulated RW should be removed from the NPP, one-half by each side, between 2023 and 2025, if no joint solution for disposal is agreed upon before that. However, according to the Joint Convention on Spent Fuel and RW, export to Croatia can be approved only if Slovenia is convinced that Croatia has adequate management capacities.

Draft of the Croatian RW Program envisages establishment of RW storage in Čerkezovac, a military facility to be released to civilian usage, in the municipality of Dvor. The Program timetable assumes that import of RW from Slovenia will start at the beginning of 2023, although the operating license for its storage is expected only later in the year. Siting of the repository for this RW is barely mentioned in the Program, with no commitment to select the site before Slovenia approves RW export.

During public debate, the public had no access to the proposed storage site, nor were any photographs of the military facility available, which could hardly be an example of a transparent RW management campaign.

The local community was strongly opposed to any RW facilities.

If, despite all that, Croatian government adopts such Program, it remains to be seen whether Slovenia will allow the export of RW to Croatia.

ISKUSTVA AKREDITACIJE INSTITUTA ZA MEDICINSKA ISTRAŽIVANJA I MEDICINU RADA NA PODRUČJU RADIOEKOLOGIJE I DOZIMETRIJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Zdenko Franić, Mirjana Čačković, Tomislav Bituh i Tomislav Meštrović
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

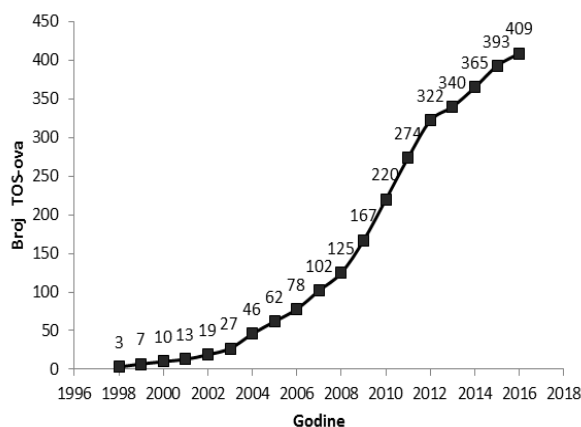
zdenko.franic@imi.hr

UVOD

Akreditacija je postupak kojim akreditacijsko tijelo, (u Republici Hrvatskoj to je Hrvatska akreditacijska agencija - HAA) vrednuje određenu instituciju (tijelo za ocjenu sukladnosti - TOS) i kao nepristrana treća strana potvrđuje da je ono nepristrano, stručno i tehnički osposobljeno za rad u skladu s nacionalnim i međunarodno prihvaćenim pravilima. Akreditiranim tijelima akreditacija između ostaloga osigurava:

- priznavanje izvještaja o ispitivanju i certifikata o sukladnosti izdanih u Republici Hrvatskoj na drugim tržištima,
- povjerenje u sigurnost i kvalitetu proizvoda i usluga na hrvatskom tržištu.

Ne čudi stoga što broj akreditiranih TOS-a u Hrvatskoj gotovo eksponencijalno raste od samoga trenutka uspostave i početka rada HAA kao ključnog čimbenika Hrvatske infrastrukture kvalitete (slika 1).



Slika 1. Broj akreditiranih tijela za ocjenu sukladnosti (TOS) koje je akreditirala Hrvatska akreditacijska agencija.

Posljedično, u slučaju ispitnih i umjernih laboratorija, akreditacija sukladno zahtjevima međunarodnog standarda (Norma) HRN EN ISO/IEC 17025 (Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija) je već odavno postala praktična i općeprihvaćena metoda upravljanja kvalitetom i potvrda tehničkih kompetencija, znanja i vještina koju je izdala nezavisna treća strana (akreditacijsko tijelo).

MATERIJAL I METODE

Korišteni su podaci i arhivski materijal koji se odnosi na sustav upravljanja kvalitetom Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada. Također, korišteni su javno dostupni podaci na Web stranicama Hrvatske akreditacijske agencije [1].

REZULTATI I RASPRAVA

Politika kvalitete

Politika kvalitete Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) proistječe iz njegove vizije (*IMI - vrhunska znanstveno-istraživačka ustanova u centralnoj i jugoistočnoj Europi koja pomiče granice otkrića o utjecaju antropogenih čimbenika na zdravlje i okoliš te predstavlja standard i mjerilo akademske profesionalnosti i kvalitete u području svoje djelatnosti*) i njegove misije (*Primjenom i razvojem inovativnih multidisciplinarnih istraživanja služiti unapređenju zdravlja ljudi i zaštiti okoliša*), a koji su zacrtani u razvojnoj Strategiji IMI-a [2].

Politika i ciljevi sustava upravljanja koji se odnose na kvalitetu temeljeni su na zahtjevima Norme te osiguravaju usmjerenost na zadovoljstvo klijenata i visoke kriterije kvalitete u provedbi ispitivanja.

Sustav upravljanja i organizacija dokumentacije

Sustav upravljanja kvalitetom (SUK) Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) sukladno zahtjevima Norme postavljen je tako da je akreditirana cijela vertikalna Instituta, a ne samo zasebne organizacijske jedinice. U praksi to znači da se akreditacijsko područje može vrlo jednostavno proširiti na druge sastavnice Instituta, a unutar jedinica koje su već obuhvaćene akreditacijom, proširenje se odnosi na nove metode ispitivanja. Dokumentacija je stoga na institutskom Intranetu dostupna svim suradnicima Instituta, a odobreni i potpisani izvornik se čuva u arhivi. Dokumentacijom SUK-a predviđeno je da je važeće izdanje

dokumentacije samo ono koje se nalazi na Intranetu, a samim činom tiskanja postaje nevažeća, čime se preveniraju bilo kakve zabune i pogreške.

Područje akreditacije

IMI je svoj sustav upravljanja sukladno zahtjevima Norme akreditirao za područja:

1. određivanje radioaktivnosti,
2. ispitivanja u području zaštite od ionizirajućeg zračenja i
3. određivanje kakvoće zraka i onečišćujućih tvari u zraku.

U akreditaciju su uključene tri organizacijske jedinice: Jedinica za zaštitu od zračenja, Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju i Jedinica za higijenu okoline.

Iako je IMI akreditiran u dobrovoljnom području, valja napomenuti da određeni zakoni i pravilnici [3,4,5] izrijeком zahtijevaju valjanu akreditaciju u svrhu provedbe tehničkih propisa te određuju minimalne tehničke uvjete za mjernu opremu [6], za mjerne metode koje su potrebne za obavljanje stručnog posla ispitivanja i zaštite od ionizirajućeg zračenja kao i za mjerne metode povezane s praćenjem kvalitete zraka.

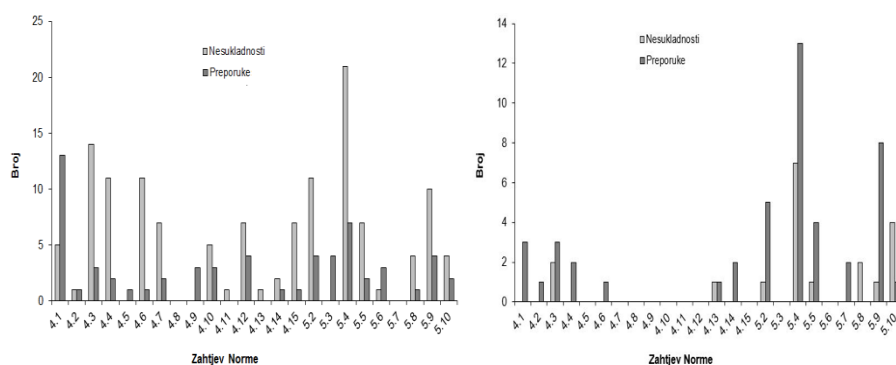
Akreditacija i re-akreditacija

Prvu akreditaciju IMI je, za sve navedene Jedinice, uspješno prošao godine 2010., a godine 2015. prošao je i re-akreditaciju. Zanimljivo je razmotriti strukturu nesukladnosti i preporuka koje su tijekom tog šestogodišnjeg perioda dali unutarnji neovisni ocjenitelji te ih usporediti s nesukladnosti preporukama koje su otvorili odnosno dali vanjski ocjenitelji tj. ocjenitelji HAA. U tom periodu, ocjenitelji i eksperti HAA otvorili su ukupno 19 nesukladnosti te dali 46 preporuka dok su unutarnji neovisni ocjenitelji otvorili 130 nesukladnosti i dali 62 preporuke, od čega se 119 nesukladnosti i 49 preporuka odnosilo na područje radioekologije i dozimetrije ionizirajućeg zračenja.

Struktura nesukladnosti i preporuka ovisno o pojedinim zahtjevima Norme prikazana je na slici 2.

Vrlo strogi kriteriji unutarnjih neovisnih ocjenitelja su pomogli da se učinkovito ustroji sustav upravljanja i dokumentira provedba zahtjeva koji se odnose poglavlje 4 Norme (zahtjevi koji se odnose na upravljanje). Najviše nesukladnosti je otvoreno u točkama 5.4 (Metode ispitivanja i umjeravanja i metoda validacije/verifikacije) i 5.9 (Osiguravanje kvalitete rezultata ispitivanja i umjeravanja) Norme. U istim točkama su i unutarnji

neovisni ocjenitelji kao i ocjenitelji HAA dali najviše primjedbi koje su u pravilu usvojene.



Slika 2. Broj nesukladnosti i preporuka koje su otvorili/dali unutarnji neovisni ocjenitelji (lijevo) i ocjenitelji HAA (desno).

Preventivne radnje i poboljšanja

Sukladno politici kvalitete sustav upravljanja kvalitetom IMI-a naročitu pažnju posvećuje preventivnim radnjama i trajnim poboljšanjima. Pri tome, preventivne radnje predstavljaju alat za sprečavanje rizika od pojavljivanja nekog neželjenog ishoda, a trajno poboljšanje predstavlja mogućnost unapređivanja sustava, bilo da se radi o zahtjevima koji se odnose na upravljanje ili na tehničke zahtjeve Norme. Odnosno, upravljanje preventivnim radnjama i poboljšanjima na IMI-u nije samo puko zadovoljavanje zahtjeva Norme nego IMI aktivno nastoji unaprijediti svoj rad i povećavati zadovoljstvo svojih klijenata osiguravanjem kvalitete svoga rada putem osuvremenjivanja postojeće i nabavom nove opreme, stručnom edukacijom osoblja, vrednovanjem ispitnih metoda kao i proširivanjem akreditacije novim ispitnim metodama.

Akreditacija kao dodana vrijednost

IMI za potrebe različitih tijela državne uprave Republike Hrvatske provodi nadzor stanja okoliša (npr. ispitivanje kvalitete zraka, različita ispitivanja kvalitete voda, praćenje radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj i sl.). Međutim, kao znanstveno-istraživačka institucija, IMI pri tome nema binarni pristup: *ima/nema* zagađenja ili *opasno/nije opasno* već za svaku promatranu noksu nastoji dobiti kvalitetne i validirane podatke koji potom omogućavaju praćenje trendova odnosno predikciju

budućeg stanja. S naručiteljima svojih ispitivanja odnosno istraživanja IMI u pravilu sklapa dobro definirane ugovore koji omogućavaju da se podaci iz nadzora (monitoringa) okoliša mogu iskoristiti i za znanstveno-stručne radove. Time podaci iz ispitivanja dobivaju na vrijednosti, a IMI izbjegava uključivanje u djelatnosti koje bi umanjile povjerenje u njegovu stručnost, nepristranost, prosudbu i dosljednost u radu.

ZAKLJUČNE PRIMJEDBE

Osiguranje kvalitete ispitnih rezultata najvažniji je čimbenik povjerenja u kompetentnost ispitnih laboratorija. Akreditacija laboratorija sukladno zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025 važna je i bitna pretpostavka konkurentnosti i uklapanja laboratorija i njegovih klijenata u aktualne tokove europskog i svjetskog tržišta. Osim što se akreditacijom dobiva službeno priznanje da je laboratorij kompetentan provoditi ispitivanja prema određenim normama, promiče se i povjerenje korisnika u laboratorije, njihovu stručnost, pouzdanost i kvalitetu usluga.

Akreditirani sustav upravljanja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada je znatno unaprijedio rad uključenih Jedinica te Institutu povećao vidljivost i dao marketinšku prednost, a time omogućio i povoljniji tržišni položaj. Prednost akreditiranog sustava upravljanja i akreditiranih Jedinica jest jedinstveni dokumentirani sustav upravljanja kvalitetom, dokumentirani rad na trajnim poboljšanjima i edukaciji svih uključenih u sustav, pouzdanost ispitnih rezultata te uspostava povjerenja u usluge koje IMI pruža, posebice zbog (međunarodne) usporedivosti ispitivanja.

LITERATURA

- [1] Hrvatska akreditacijska agencija. Registar akreditacija. *Dostupno na:* <<http://www.akreditacija.hr/registar>>.
- [2] Strategija Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada 2017-2030. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb 2017. *Dostupno na:* <https://www.imi.hr/hr/institut/dokumenti>.
- [3] Zakon o zaštiti zraka. NN 130/11; NN 47/14.
- [4] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti. NN 141/13 i 39/15.
- [5] Pravilnik o ovlašćivanju stručnih tehničkih servisa za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja. NN 72/11.
- [6] Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu. NN 121/13.

EXPERIENCES IN ACCREDITATION OF THE INSTITUTE FOR MEDICAL RESEARCH AND OCCUPATIONAL HEALTH IN THE AREA OF RADIOECOLOGY AND DOSIMETRY OF IONISING RADIATION

*Zdenko Franić, Mirjana Čačković, Tomislav Bituh and
Tomislav Meštrović*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
zdenko.franic@imi.hr

Accreditation in accordance with the requirements of the international ISO / IEC 17025 standard (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories) has become a practical and widely accepted method of quality management and objective evidence of technical competence, knowledge and skills of testing and calibration laboratories issued by an independent third party.

The competitive advantages of accredited laboratories are the documented quality management system, continuous improvement, training of personnel, quality assurance and reliability of test results, as well as the establishment of confidence in provided services, particularly for the purposes of (international) comparability in interlaboratory tests by adopting the concept of traceability.

The Institute for Medical Research and Occupational Health (IMI) has accredited its management system in accordance with the requirements of ISO / IEC 17025 standard in year 2010 for the scope:

- Determination of radioactivity,
- Testing in the scope of ionizing radiation protection and
- Determination of air quality and pollutants in the air

This accreditation encompassed three units: Unit for Radiation Protection, Environmental Hygiene Unit and the Unit for Radiation Dosimetry and Radiobiology.

This paper describes and discusses the main features of quality management system at the Institute and experiences over the six-year period following initial accreditation. Non-conformities discovered during regular work, internal audits and external audits performed by the Croatian Accreditation Agency were analysed.

BESPUĆA PREVODITELJSKE ZBILJNOSTI O IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU

Mario Medvedec

Klinički bolnički centar, Zagreb

mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

UVOD

Republika Hrvatska (RH) postala je 28. članica Europske unije 1. srpnja 2013. Njen posljednji Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti donesen je 27. studenog 2013., s odredbama koje su u skladu s jedanaest akata Europske unije – direktivama i uredbama Vijeća (Euroatom) te uredbama Komisije (Euroatom) iz razdoblja 1989.-2011. [1,2]. No, Vijeće Europske unije donijelo je 5. prosinca 2013. novu Direktivu Vijeća 2013/59/Euroatom (u daljnjem tekstu Direktiva) o osnovnim sigurnosnim standardima zaštite od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom [3], ukupno pet od gornjih jedanaest akata. Direktiva je 17. siječnja 2014. objavljena na svim jezicima država članica u Službenom listu Europske Unije, pa tako i na hrvatskom jeziku [4], Države članice trebaju donijeti potrebne zakone, pravilnike i druge propise potrebne za usklađivanje s ovom Direktivom najkasnije do 6. veljače 2018.

MATERIJAL I METODE

Datotečni izvornik Direktive na engleskom jeziku [3] i njena inačica na hrvatskom jeziku [4] pažljivo su pročitane i uspoređene, uz pomoć računalnih programa za prikaz i obradbu teksta. Pri analizi teksta i pojmovlja rabljeni su i odgovarajući propisi RH [1]. Pojedini rezultati prikazani su slučajnim redoslijedom u obliku: *engleski izvornik* - hrvatski prijevod - {uobičajeni izriječ ili prijedlog na hrvatskom}: *engleski* i/ili hrvatski kontekst (po potrebi);, primjerice: *public exposure* - javna izloženost zračenju, izloženost stanovništva zračenju - {ozračenje stanovništva / izloženost stanovništva zračenju}: "*public exposure*" means *exposure of individuals, excluding any occupational or medical exposure* / „javno izlaganje” znači izlaganje pojedinaca osim profesionalnog ili medicinskog izlaganja.

REZULTATI

U nastavku su navedeni neki rezultati usporedne analize Direktive na engleskom [3] i hrvatskom jeziku [4]:

sealed radioactive source - zapečaćeni radioaktivni izvor - {zatvoreni radioaktivni izvor};

orphan source - nezbrinuti izvor, napušteni izvor - {izvor bez posjednika};

"members of the public" means individuals who may be subject to public exposure / „pojedini stanovnik” znači pojedinac koji može pretrpjeti javno izlaganje - {pojedini stanovnici su fizičke osobe, isključujući izložene radnike i osobe koje se obučavaju ili školuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja za vrijeme rada i obrazovanja}

measurable quantity - mjerljiva količina - {mjerljiva veličina}: *calculation of doses from measureable quantities should rely on scientifically established values and relationships* / izračun doza iz mjerljivih količina treba se zasnivati na znanstveno utvrđenim vrijednostima i odnosima;

equivalent dose - jednakovrijedna doza - {ekvivalentna doza};

the limit on the equivalent dose for the extremities shall be 500 mSv in a year - granica efektivne doze za profesionalno izlaganje je 500 mSv u svakoj pojedinoj godini;

the limit on the equivalent dose for the extremities shall be 150 mSv in a year - granica efektivne doze za ekstremitete je 150 mSv u svakoj pojedinoj godini;

as low as reasonably achievable - što je moguće niža ostvariva razina, što je moguće niže, što je niže moguće, što je moguće niža razina, koliko je razumno ostvarivo nisko - {toliko nisko koliko je razumno moguće postići}; *...to keep doses as low as reasonably achievable* / ...kako bi se doze zadržale na što je moguće nižoj ostvarivoj razini;

lens of the eye - leće u oku - {očna leća}: *the limit for equivalent dose for the lens of the eye* / ograničenje za jednakovrijednu dozu za leće u oku;

practice - praksa - {radnje / djelatnost}; ...kao i u slučaju drugih praksi...takve prakse moraju se staviti pod odgovarajući kontrolu propisa... poduzeća koja izvode prakse s radijacijskim izvorima;

practitioner - praktičar, stručnjak; *"practitioner" means a medical doctor, dentist or other health professional who is entitled to take clinical responsibility for an individual medical exposure in accordance with national requirements* / „stručnjak” znači doktor medicine, zubar ili drugi zdravstveni stručnjak koji ima pravo preuzimati kliničku odgovornost za pojedinačno medicinsko izlaganje u skladu s nacionalnim uvjetima;

internal exposure - izlaganja zračenju iznutra, unutrašnje izlaganje - {unutarnje ozračenje / izlaganje zračenju unutarnjeg izvora};

medical exposure - izlaganje zračenju iz zdravstvenih razloga, izlaganje zračenju u zdravstvene svrhe, zdravstveno izlaganje zračenju, medicinsko izlaganje - {medicinsko ozračenje / medicinsko izlaganje zračenju}; *this Directive should emphasise the need for justification of medical exposure*/ova Direktiva treba naglasiti potrebu da se opravda izlaganje zračenju iz zdravstvenih razloga;

accidental and unintended medical exposure - slučajno i nenamjerno izlaganje zračenju u zdravstvene svrhe, slučajno ili nenamjerno medicinsko izlaganje, slučajno ili nenamjeravano izlaganje, slučajno ili nenamjeravano medicinsko izlaganje; *"accidental exposure" means an exposure of individuals, other than emergency workers, as a result of an accident* / slučajno izlaganje znači izlaganje pojedinaca kao posljedica nesreće, osim radnika u izvanrednom događaju;

non-medical imaging exposure - nemedicinsko izlaganje za potrebe izrade slika, izlaganje nemedicinskog slikanja - {ozračenje nemedicinskim oslikavanjem / izlaganje zračenju nemedicinskim slikanjem}; *"non-medical imaging exposure" means any deliberate exposure of humans for imaging purposes where the primary intention of the exposure is not to bring a health benefit to the individual being exposed* - „izlaganje nemedicinskog slikanja” znači svako namjerno izlaganje ljudi radi slikanja gdje primarna namjera izlaganja nije korist za zdravlje pojedinca koji je izložen;

volume - opseg - {volumen, obujam, zapremina}; za svako medicinsko izlaganje pacijenata u radioterapijske svrhe izlaganja ciljanih opsega pojedinačno se planiraju, a njihovo izvršavanje na odgovarajući način provjerava uzimajući u obzir da doze usmjerene na opsege i tkiva koji nisu ciljani budu što je niže moguće i u skladu s namjeravanom radioterapijskom svrhom izlaganja;

nuclear power plant - nuklearna centrala - {nuklearna elektrana};

coal-fired power plant - elektrocentrala - {termoelektrana na ugljen};

medical devices and construction products covered by CE marking - medicinske naprave i građevinski proizvodi obuhvaćeni oznakama VE;

absorbed dose - unesena doza - {apsorbirana doza};

external dose rate - vanjska stopa zračenja - {brzina vanjske doze};

equivalent dose (H_T) is the absorbed dose, in tissue or organ T , weighted for the type and quality of radiation R - ekvivalentna doza (H_T) je doza unesena u tkivo ili organ T ponderirana po vrsti i kvaliteti zračenja R ;

ionising radiation means energy transferred in the form of particles or electromagnetic waves of a wavelength of 100 nanometres or less (a frequency of 3×10^{15} hertz or more) capable of producing ions directly or indirectly - „ionizirajuće zračenje” znači prijenos energije u obliku čestica elektromagnetskih valova valne dužine 100 nanometara ili manje (frekvencije 3×10^{15} hertza ili veće) koje mogu izravno ili neizravno proizvoditi ione;

medical physics expert - medicinski stručnjak za fiziku, stručnjak za medicinsku fiziku – {specijalist medicinske fizike};

competences - radne sposobnosti, radne vještine, radne kvalifikacije, stručnost - {kompetencije};

medical radiological procedure - radiološki postupak – {medicinski radiološki postupak};

"quality assurance" means all those planned and systematic actions necessary to provide adequate assurance that a structure, system, component or procedure will perform satisfactorily in compliance with agreed standards. Quality control is a part of quality assurance; - „garancija kvalitete” znači sve planirane i sustavne radnje potrebne za pružanje odgovarajuće garancije da će struktura, sustav, sastavnica ili procedura funkcionirati na zadovoljavajući način sukladno dogovorenim normama. Kontrola kvalitete je dio garancije kvalitete;

exposure pathways - kanali izlaganja – {putevi izlaganja zračenju / načini ozračenja};

Scientific and Technical Committee - Odbor za znanstvena i tehnička istraživanja, Znanstveni i tehnički odbor - {Znanstveni i tehnički odbor};

for external beam radiotherapy with a nominal beam energy exceeding 1 MeV - za vanjsku zračnu radioterapiju s normalnom energijom zrake većom od 1 MeV;

it is the quotient of dN by dt - to je kvocijent od dN kroz dt - {količnik dN i dt };

if abdominal and pelvic regions are involved - ako je riječ o području trbuha ili prepona - {ako je uključeno područje trbuha ili zdjelice};

In the case of a breastfeeding individual, in nuclear medicine, depending on the medical radiological procedure, special attention shall be given to the justification, particularly the urgency, and to the optimisation, taking into account both the individual and the child. - U slučaju žene koja doji u nuklearnoj medicini i ovisno o medicinskom radiološkom postupku posebna se pažnja posvećuje opravdanosti, osobito hitnosti te optimizaciji, uzimajući u obzir kako trudnu osobu tako i dijete.

ZAKLJUČAK

Pozornim čitanjem Direktive na hrvatskom jeziku [4] te usporedbom s izvornikom na engleskom jeziku [3], uočavaju se stručne i jezične netočnosti, nepreciznosti, nedosljednosti, neprimjerenosti i nespretnosti u tekstu na hrvatskom jeziku, koje bi sve redom valjalo što žurnije ispraviti.

Pri takvoj bi stručnoj i jezičnoj recenziji najveći hrvatski autoriteti iz odgovarajućih znanstvenih područja, polja i grana od interesa (stručna društva, stručne skupine i osobe,...), a ne državna administracija, trebali odigrati ključnu ulogu u procesu oblikovanja konačne inačice Direktive na hrvatskom jeziku, kao cjelovitog i vjerodostojnog temeljnog dokumenta i za zakonodavstvo RH o zaštiti od ionizirajućeg zračenja, odnosno radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti.

LITERATURA

- [1] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Propisi i drugi dokumenti [Internet]. 2016 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://cms.dzrns.hr/propisi_i_dokumenti/propisi.
- [2] European Atomic Energy Community [Internet]. 2017 [ažurirano 30. siječnja 2017.; citirano 28. veljače 2017.] Dostupno na https://en.wikipedia.org/wiki/European_Atomic_Energy_Community
- [3] Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal of the European Communities 17.1.2014.; No. L-13: 1-73.
- [4] Direktiva vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom. Službeni list Europske unije 17.1.2014.; Broj L-13: 1-73.

WASTELANDS OF TRANSLATION REALITY OF IONIZING RADIATION

Mario Medvedec

University Hospital Centre Zagreb, Croatia

mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

The Council of the European Union adopted COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM (in further text: Directive) of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. The Directive was published on 17 January 2014 in all languages of the Member States in the Official Journal of the European Union. Member States shall bring into force the laws, regulations and administrative provisions necessary to comply with this Directive by 6 February 2018.

Careful reading of the Directive in Croatian language, in comparison to the original in English, reveals important professional and linguistic inaccuracies, inconsistencies, inadequacies and ambiguities in the Croatian text, that all should be corrected as soon as possible. Some of these paired examples literally read as: exposure in public (places) vs. public (radiation) exposure, intake dose vs. absorbed dose, medical expert for physics vs. medical physics expert, groin vs. pelvis, guaranty of quality vs. quality assurance, targeted perimeter/extent vs. target volume, external beam radiotherapy vs. external air radiotherapy, the limit on the effective dose for occupational exposure shall be 500 mSv in any given year vs. the limit on the equivalent dose for the extremities shall be 500 mSv in a year, etc.

In addition to the usual process of preparation of European legislation for publishing in Member State languages, professional and linguistic review of the Directive in Croatian language should also include Croatian authorities in the relevant scientific areas, fields and branches of interest (professional associations, professional groups, individuals,...), in order to make all necessary changes for improving the Croatian version of the Directive, as a comprehensive and credible basis for national legislation on radiation protection and radiological and nuclear safety.

UNUTARNJI PROBLEMI S UNUTARNJIM OZRAČENJEM U NAČELU

Mario Medvedec

Klinički bolnički centar, Zagreb

mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

UVOD

Direktiva Vijeća 2013/59/Euratom (u daljnjem tekstu Direktiva 2013/59) od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima zaštite od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom [1] propisuje, između ostalog, kako zemlje članice Europske Unije trebaju osigurati (a) određivanje unutarnjeg i vanjskog ozračenja izloženih radnika koji podliježu takvom osobnom dozimetrijskom praćenju, (b) pojedinačno planiranje i provjeravanje svakog medicinskog ozračivanja bolesnika u svrhu liječenja i (c) sudjelovanje specijalista medicinske fizike u medicinskim radiološkim postupcima, napose onim radioterapijskim. Države članice trebaju donijeti potrebne zakone, pravilnike i druge propise potrebne za usklađivanje s Direktivom 2013/59 najkasnije do 6. veljače 2018.

MATERIJAL I METODE

Odredbe nove Direktive 2013/59 [1] i dviju starijih direktiva od interesa ovog rada (Direktiva Vijeća 96/29/Euratom od 13. svibnja 1996. o osnovnim sigurnosnim standardima zaštite zdravlja radnika i stanovništva od opasnosti koje potječu od ionizirajućeg zračenja te Direktiva Vijeća 97/43/Euratom od 30. lipnja 1997. o zdravstvenoj zaštiti osoba od opasnosti ionizirajućeg zračenja u odnosu na medicinsko ozračenje, i o stavljanju van snage Direktive 84/466/Euratom [2,3]), koje je Direktiva 2013/59 stavila izvan snage, uspoređene su s analognim dijelovima važećeg zakonodavstva koje trenutno propisuje hrvatski zakonodavatelj [4].

REZULTATI

Države članice Europske unije trebale bi osigurati utvrđivanje unutarnjih i vanjskih doza za izložene radnike koji podliježu pojedinačnom praćenju od strane dozimetrijskih službi, kako bi zabilježile dozu u suradnji

s poduzećem odnosno poslodavcem, a prema potrebi i u suradnji sa službom medicine rada [1]. Mjerenje osobnog ozračenja izloženih radnika ili osoba koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja trebalo bi se u Republici Hrvatskoj provoditi sustavno individualnim mjerenjem vanjskog ozračenja, a kod radnika koji rade s otvorenim radioaktivnim izvorima moralo bi se i izmjeriti i/ili procijeniti i unutarnje ozračenje [5]. Stupanj unutarnjeg ozračenja izloženih radnika koji rade s otvorenim radioaktivnim izvorima trebao bi se odrediti izravnim mjerenjem radioaktivnosti u cijelom tijelu ili u kritičnim organima, neizravnim procjenom temeljem mjerenja koncentracije radionuklida u biološkim uzorcima ili proračunom očekivane efektivne doze od radionuklida unesenih u organizam iz radnog okoliša u kojem je mjerenjem utvrđena koncentracija radionuklida, ili pak odrediti na neki drugi način kojim bi se mogli osigurati vjerodostojni rezultati [6-8]. Stupanj izloženosti unutarnjem ozračenju od unesenih radionuklida u tijelo izloženog radnika koji radi s otvorenim izvorima zračenja trebao bi se određivati jednom godišnje proračunom efektivne doze i upisivanjem u osobni karton primljenih doza tog radnika, uz opasku kako se radi o unutarnjem ozračenju te uz napomenu o načinu na koji je doza procijenjena [6]. Mjerenja osobnog unutarnjeg ozračenja izloženih radnika ili osoba koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja jedni su od stručnih poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja koje mogu obavljati stručni tehnički servisi koje ovlasti Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost [9].

Nadalje, Europsko vijeće je još 1997. godine [2] propisalo kako prije svakog medicinskog ozračenja bolesnika u radioterapijske svrhe treba ozračenja ciljnih volumena pojedinačno planirati, a izvršavanje ozračenja na odgovarajući način provjeravati [1], uzimajući u obzir da doze u neciljnim volumenima i tkivima trebaju biti toliko niske koliko je razumno ostvarivo te u skladu s namjeravanom radioterapijskom svrhom ozračenja [2], pri čemu „radioterapijski“ znači „koji pripada radioterapiji, uključujući i nuklearnu medicinu u terapijske svrhe“ [1,2]. Slično propisuje i hrvatski zakonodavatelj [10], dakle da pri ozračenju osoba u svrhu provođenja terapijskog postupka uporabom izvora ionizirajućeg zračenja, ozračivanje ciljnog volumena mora biti planirano za svakog pojedinog bolesnika, pri čemu ozračenje zdravog volumena i tkiva mora biti toliko nisko koliko je razumno moguće postići i u skladu s namijenjenom terapijskom svrhom ozračivanja.

No, u slučaju terapijskog postupka uporabom izvora ionizirajućeg zračenja, izrijek hrvatskog zakonodavatelja („U terapijskim postupcima u medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja, osim u nuklearnoj medicini, medicinski fizičar mora biti aktivno uključen“ [10]) nije na tragu niti starijeg europskog izrijeka („U radioterapijskim postupcima specijalist medicinske fizike mora biti uključen i tijesno surađivati. U standardnim terapijskim postupcima i dijagnostičkim postupcima specijalist medicinske fizike mora biti na raspolaganju.“ [2]), niti trenutnog europskog izrijeka („U medicinskim radiološkim postupcima sudjeluje stručnjak za medicinsku fiziku, napose aktivno u radioterapijskim postupcima različitim od standardiziranih postupaka liječenja u nuklearnoj medicini, te u standardiziranim postupcima u nuklearnoj medicini ili u dijagnostičkim i intervencijskim radiološkim postupcima koji uključuju visoke doze [1] (u terapijskoj nuklearnoj medicini od nekoliko Gy do nekoliko stotina Gy [11,12]))“.

ZAKLJUČAK

U načelu, unutarnji problemi s unutarnjim ozračenjem u Republici Hrvatskoj su nepoštivanje zakona i na dokazima utemeljene medicinske znanosti i znanosti o zračenju. S jedne strane, unutarnje se ozračenje izloženih radnika niti ne mjeri niti ne procjenjuje, iako je efektivna doza od unutarnjih i vanjskih izvora ionizirajućeg zračenja vjerodostojna mjera ozračenja tjelesnih tkiva i organa tek kada se ukupno ozračenje odnosno ukupna efektivna doza izrazi kao zbroj efektivne doze od vanjskog ozračenja u određenom razdoblju i očekivane efektivne doze od unutarnjeg ozračenja zbog unesenih radionuklida u organizam u tom istom razdoblju [1,3,6,13]. S druge strane, jednako se tako rutinski još uvijek ne planiraju niti intraterapijski provjeravaju apsorbirane doze i njihove brzine pri izvršavanju medicinskog ozračenja bolesnika prije odnosno tijekom radionuklidnog liječenja u nuklearnoj medicini. Naposljetku, ali nikako i najmanje važno, hrvatska definicija, ali i percepcija uloge i važnosti kliničkih medicinskih fizičara odnosno specijalista medicinske fizike u pripremi i izvođenju radiodijagnostičkih i radioterapijskih postupaka te regulacija njihovog zanimanja jest neodgovarajuća i nezadovoljavajuća. Stoga u hrvatsko zakonodavstvo valja vjerodostojno i neselektivno što prije unijeti sve obvezujuće europske odredbe glede unutarnjeg ozračenja i izloženih radnika i bolesnika u svrhu liječenja, te ih konačno početi striktno provoditi na opće dobro.

LITERATURA

- [1] Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal of the European Communities 17.1.2014.; No. L-13: 1-73.
- [2] Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. 29.06.1996. No. L-159/39:1-29.
- [3] Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. Official Journal of the European Communities 30.6.1997. No. L-180/22:1-6.
- [4] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Propisi i drugi dokumenti [Internet]. 2016 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://cms.dzrns.hr/propisi_i_dokumenti/propisi.
- [5] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [Internet]. 2013 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2013_11_141_3012.html.
- [6] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Pravilnik o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [Internet]. 2012 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2012_04_41_1059.html.
- [7] Toohey R, Palmer E, Anderson L, Berger C, Cohen N, Eisele G, Wachholz B, Burr W Jr. Current status of whole-body counting as a means to detect and quantify previous exposures to radioactive materials - Whole-body Counting Working Group. Health Phys 1991;60 Suppl 1:7-42.
- [8] Boecker B, Hall R, Inn K, Lawrence J, Ziemer P, Eisele G, Wachholz B, Burr W Jr. Current status of bioassay procedures to detect and quantify previous exposures to radioactive materials - Bioassay Procedures Working Group. Health Phys 1991;60 Suppl 1:45-100.
- [9] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Pravilnik o ovlaštivanju stručnih tehničkih servisa za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja [Internet]. 2011 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2011_06_72_1538.html.
- [10] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini. [Internet]. 2013 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2013_07_89_1963.html.

- [11] European association of nuclear medicine. Guidelines – radionuclide therapy [Internet]. 2011 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na <http://www.eanm.org/publications/guidelines/radionuclide-therapy/>
- [12] Society of nuclear medicine and molecular imaging. Procedure standards - Therapy [Internet]. 2012 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na <http://www.snmni.org/ClinicalPractice/content.aspx?ItemNumber=6414#Therapy>
- [13] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Pravilnik o granicama ozračenja. [Internet]. 2013 [citirano 28. veljače 2017.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_05_59_1217.html.

INTERNAL PROBLEMS WITH INTERNAL EXPOSURE IN PRINCIPLE

Mario Medvedec

University Hospital Centre Zagreb, Croatia

mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

The Council Directive 2013/59 / Euratom on basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation states that (a) Member State shall ensure that dosimetry services determine internal or external doses to exposed workers subject to individual monitoring, in order to record the dose in cooperation with the undertaking and in the case of outside workers, the employer, and where relevant the occupational health service, (b) for all medical exposure of patients for radiotherapeutic purposes, exposures of target volumes shall be individually planned and their delivery appropriately verified, taking into account that doses to non-target volumes and tissues shall be as low as reasonably achievable and consistent with the intended radiotherapeutic purpose of the exposure, whereas "radiotherapy" means "belonging to radiotherapy, including nuclear medicine for therapeutic purposes"; (c) in medical radiological practices, a medical physics expert shall be (i) closely involved in radiotherapeutic practices other than standardised therapeutic nuclear medicine practices, and (ii) involved in standardised therapeutic nuclear medicine practices as well as in radiodiagnostic and interventional radiology practices, involving high doses (in therapeutic nuclear medicine in the range of several Gy to several hundred Gy). Since internal doses of the workers exposed to unsealed radioactive sources and the patients undergoing radionuclide therapy in nuclear medicine have been not routinely being quantified by Croatian dosimetry services and by the appropriate involvement of medical physics experts, respectively, internal problems with internal exposures are, in principle, disregard of the law and the evidence-based medicine. It is recommended that national legislations strictly and non-selectively adopt and practically implement all the internationally and professionally agreed standards related to occupational and medical exposure involving practices with unsealed sources.

**ZAŠTITA OD ZRAČENJA I
DOZIMETRIJA U MEDICINI**

***RADIATION PROTECTION AND
DOSIMETRY IN MEDICINE***

MJERENJA SEKUNDARNOG ZRAČENJA UNUTAR DJEČJEG FANTOMA U PROTONSKOJ RADIOTERAPIJI – AKTIVNOSTI UNUTAR EURADOS RADNE GRUPE 9 (SG2)

Željka Knežević, on behalf of WG9
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
zknez@irb.hr

UVOD

Radioterapija tumora snopom protona (engl. *Proton Beam Therapy*, PBT) pokazuje povećanje deponiranja energije s dubinom do oštrog maksimuma na kraju dosega protona i gotovo minimalno zračenje okolnog tkiva iza tzv. Braggovog vrha. Interakcija protona s materijom rezultira stvaranjem sekundarnog zračenja koje se najvećim dijelom sastoji od neutrona i gama zračenja. Neželjene doze zračenja (tzv. *out-of-field doses*) koje se apsorbiraju izvan područja radioterapijskog tretmana mogu dovesti do neželjenih kasnih efekata zračenja uključujući i pojavu sekundarnog malignog oboljenja. Absorbirane doze izvan ciljanog volumena od posebne su važnosti kod dječje populacije koja je najosjetljivija na utjecaj zračenja. Oko 70 % djece s malignim oboljenjima se uspješno liječi, a radioterapija je najčešća metoda liječenja karcinoma kod djece. Terapija protonima ima prednosti u smislu kratkoročnih i dugoročnih komplikacija što je od posebne važnosti kad je tumor lociran u blizini kritičnih organa i kod liječenja karcinoma kod dječje populacije.

U okviru EURADOS-ove (*European Radiation Dosimetry Group*) radne grupe 9, podgrupe 2 (Hadronska radioterapija) napravljena su dozimetrijska mjerenja sekundarnog zračenja kod terapije protonima unutar dječjih antropomorfnih fantoma. U radu će biti prikazani preliminarni rezultati mjerenja doza zračenja za neke korištene pasivne detektore.

MATERIJAL I METODE

Eksperimenti su napravljeni u Protonskom radioterapijskom centru (*Bronowice Cyclotron Center*) u Krakovu, Poljska, na protonskom uređaju s aktivnim skeniranjem, IBA Proton Therapy System - Proteus 235, 230 MeV. Dozimetri su zračeni unutar antropomorfnih CIRS fantoma koji odgovaraju jednogodišnjem, petogodišnjem i desetogodišnjem djetetu.

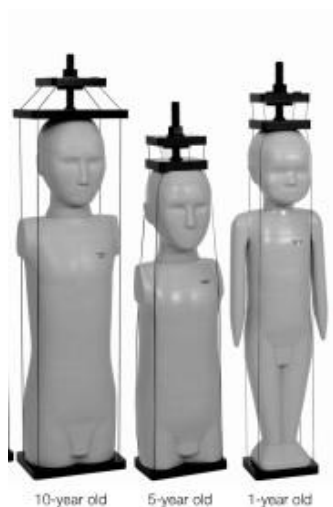
Izocentar (u centru sfere promjera 6 cm koja je simulirala tumor mozga) je bio smješten u glavi fantoma. Doza na ciljani volumen iznosila je 100 Gy koja je isporučena u jednoj frakciji za svaku vrstu dozimetara posebno.

Za mjerenja doza unutar fantoma korišteni su termoluminescentni dozimetri (TLD) – Institut Fizyki Jadrowej (IFJ), Krakov, Belgian Nuclear Research Center, Mol (SCK-CEN), radiofotoluminescentni (RPL) dozimetri – Institut Ruđer Bošković (IRB), Zagreb, i optički stimulirani dozimetri (OSL) SCK-CEN. Za mjerenja neutronske doze korišteni su detektori nuklearnih tragova (CR-39) – Nuclear Physics Institute (NPI), Prag, i Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i IFJ.

Svi gama dozimetri kalibrirani su na izvoru ^{60}Co ili ^{137}Cs , a doze su izražene kao apsorbirana doza u vodi. Vrste i karakteristike dozimetara prikazane su u tablici 1, a slike i karakteristike korištenih fantoma na slici 1. Detaljna svojstva korištenih dozimetara kao i parametri evaluacije i kalibracije opisani su u ranijim radovima [1,2].

Tablica 1. Podaci o korištenim dozimetrima.

Detektor	Materijal	Dimenzije (mm)
MTS-7	^7LiF : Mg, Ti,	$\Phi 4,5 \times 0,9$
MTS-6	^6LiF : Mg, Ti,	$\Phi 4,5 \times 0,9$
MCPn	^7LiF : Mg, Cu,P	$\Phi 4,5 \times 0,9$
OSL	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$	$\Phi 4,5 \times 0,9$
RPL (GD-352M) sa Sn filterom	Ag aktivirano fosfatno staklo	$\Phi 1,5 \times 12,0$ $\Phi 4,3 \times 14,5$
RPL (GD-302M) bez filtera	Ag aktivirano fosfatno staklo	$\Phi 1,5 \times 12,0$ $\Phi 2,8 \times 13,0$



Vrsta fantoma	Visina (cm)	Težina (kg)	Broj slojeva
Dijete - 1 godina	75	10	28
Dijete - 5 godina	110	19	26
Dijete - 10 godina	140	32	32

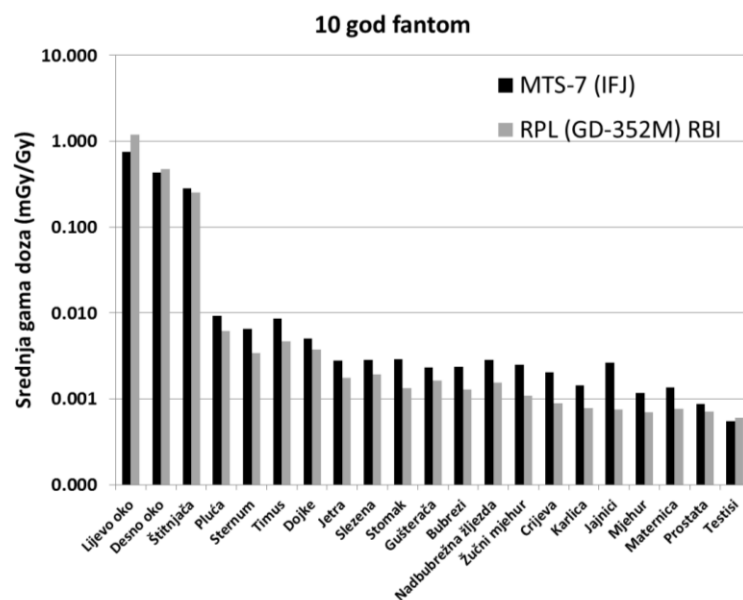
Slika 1. Antropomorfni fantomi i njihove karakteristike.

REZULTATI

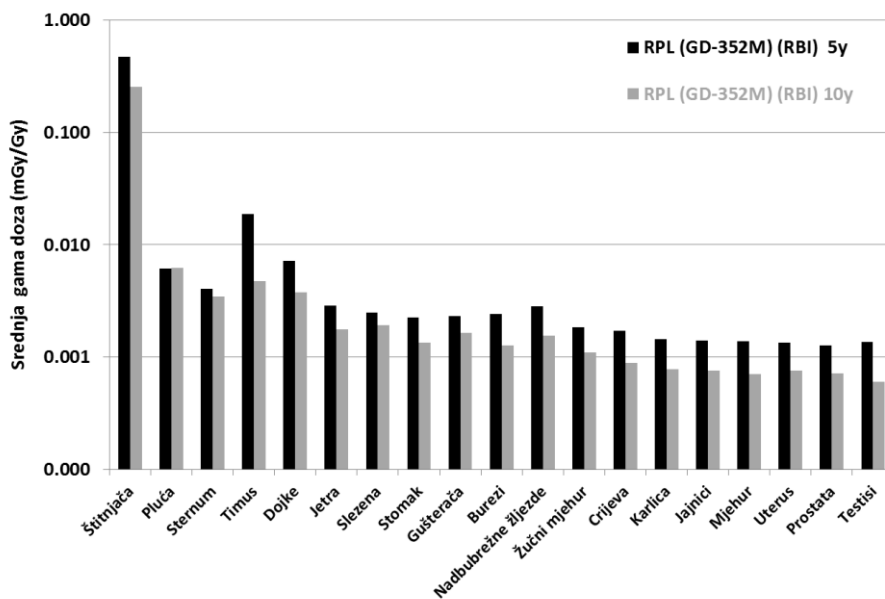
Rezultati mjerenja doza unutar ciljanog volumena pokazali su dobra slaganja između nominalne i mjerene doze unutar desetogodišnjeg fantoma za RPL i TLD (MTS-7 i MTS-6) detektore. Za RPL detektore preliminarni rezultati pokazali su da je mjerena doza iznosila: $D_{\text{mjerena}} = (94,5 \text{ Gy} \pm 0,3 \%)$, za MTS-7 $D_{\text{mjerena}} = (95,9 \text{ Gy} \pm 1 \%)$ te za MTS-6 $D_{\text{mjerena}} = (100,7 \text{ Gy} \pm 2,9 \%)$.

Srednje gama doze u različitim organima mjerene unutar 10-godišnjeg fantoma MTS-7 i RPL dozimetrima prikazane su na Slici 2. Sve doze su normirane na dozu od 1 Gy u ciljanom volumenu. U prosjeku TL dozimetri (obogaćeni s ^7Li) pokazali su viši odziv zbog njihove veće osjetljivosti na sekundarne neutrone u usporedbi s RPL dozimetrima.

Na Slici 3 prikazana je usporedba gama doza od raspršenog zračenja izmjerenih RPL dozimetrima za petogodišnji i desetogodišnji fantom. Rezultati su pokazali da su sekundarne gama doze za petogodišnji fantom veće u usporedbi s dozama izmjerenim unutar desetogodišnjeg fantoma. Razlog je manja udaljenost od zdravih organa do ozračenog ciljanog volumena. Izmjerene doze od raspršenog zračenja u organima izvan ciljanog volumena su niže u odnosu na ciljani volumen za 4 do 5 redova veličine.



Slika 2. Usporedba srednje gama doze za pojedine organe za MTS-7 i RPL dozimetre u desetogodišnjem fantomu.



Slika 3. Usporedba srednje doze u organima za petogodišnji (5y) i desetogodišnji (10y) fantom mjereno RPL dozimetrima.

ZAKLJUČAK

Preliminarni rezultati mjerenja pokazali su da je raspršeno zračenje manje za 4 do 5 redova veličine u odnosu na doze zračenja u ciljanom volumenu. Sekundarno zračenje izmjereno za petogodišnji fantom kod radioterapije skenirajućim protonskim snopovima (engl. *active-scanning proton beam radiotherapy*) manje je za oko 2 reda veličine u odnosu na konvencionalnu radioterapiju [3,4]. Detaljna analiza rezultata kao i planirane Monte Carlo simulacije dat će vrijedne informacije o dozama raspršenog zračenja na udaljenostima od ciljanog volumena u protonskoj radioterapiji u usporedbi s konvencionalnim radioterapijskim tehnikama.

Zahvala

Rad je izrađen unutar EURADOS radne grupe 9 (WG9) „Radiation dosimetry in radiotherapy“.

LITERATURA

- [1] Knežević Ž, Stolarczyk L, Bessieres I, Bordy J-M, Miljanić S, Olko P. Photon dosimetry methods outside the target volume in radiation therapy: Optically stimulated luminescence (OSL), thermoluminescence (TL) and radiophotoluminescence (RPL) dosimetry. *Radiat Meas* 2013;57:9-18.
- [2] Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Knežević Ž, Vekić B. Main dosimetric characteristics of some tissue-equivalent TL detectors. *Radiat Prot Dosim* 2002;100:437-442.
- [3] Bordy J-M, Bessieres I, d'Agostino E, Domingo C, d'Ericco F, Di Fulvio A, Knežević Ž, Miljanić S, Olko P, Ostrowski A, Poumarede B, Sorel S, Stolarczyk L, Vermesse D. Radiotherapy out-of-field dosimetry: Experimental and computational results for photons in a water tank. *Radiat Meas* 2013;57:29-34.
- [4] Miljanić S, Bessieres I, Bordy J-M, d'Ericco F, Di Fulvio A, Kabat D, Knežević Ž, Olko P, Stolarczyk L, Tana L, Harrison R. Clinical simulations of prostate radiotherapy using BOMAB-like phantoms: Results for photons. *Radiat Meas* 2013;57:35-47.

**MEASUREMENTS OF SECONDARY RADIATION
DOSES INSIDE A PAEDIATRIC ANTHROPOMORPHIC
PHANTOM EXPOSED TO SCANNING PROTON
RADIOTHERAPY,
ACTIVITIES WITHIN EURADOS WG9 (SG2)**

Željka Knežević, on behalf of WG9
Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia
zknez@irb.hr

Proton beams show an increase in energy deposition with penetration depth up to a sharp maximum at the end of their range and almost no dose is deposited in the normal tissue beyond the Bragg peak. Unwanted doses, deposited distantly from the target volume (out-of-field doses), may lead to an increasing probability of late effects of radiotherapy including the generation of secondary cancers which is of especial importance for children. Around 70 % of children with malignant diseases are successfully treated and radiotherapy is most frequent method of treating the tumors. The hadron therapy sub-group of EURADOS Working Group 9 (Radiation Dosimetry in Radiotherapy) is engaged in a measurement campaign designed to investigate the secondary radiation generated by a scanning proton beam. The measurement campaign was designed to measure out-of-field organ doses using 5 and 10 year-old anthropomorphic phantoms (CIRS) in the Bronowice Cyclotron Center in Krakow, Poland (IBA Proton Therapy System - Proteus 235). Doses were measured in different organs with thermoluminescent (MTS-7, MTS-6 and MCP), radiophotoluminescent (GD-352M and GD302-M), optically stimulated (OSL) and CR-39 track detectors. The isocenter (at the centre of a sphere 6 cm diameter, representing the tumour) was located in the head of the phantom and the applied target dose was 100 Gy. The detailed analysis of the results with different dosimetry systems combined with ongoing Monte Carlo simulations will give valuable information about out of field doses.

PERIFERNE DOZE U GINEKOLOŠKOM BRAHITERAPIJSKOM TRETMANU – USPOREDBA MJERENJA U FANTOMU I TPS – PRELIMINARNI REZULTATI

*Saveta Miljanić¹ i João A. M. Santos²
u ime radne grupe 9 EURADOS-a*

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

²Serviço de Física Médica, Instituto Português de Oncologia, Porto, Portugal
saveta@irb.hr

UVOD

Osnovni cilj radne grupe 9 (WG9) EURADOS-a (*Radiation Dosimetry in Radiotherapy*) je određivanje neželjenih perifernih (*out-of-field*) doza u radioterapiji u svrhu procjene pripadajućeg rizika sekundarnog malignog oboljenja. Primjenom suvremenih terapijskih metoda produžuje se život pacijenata, ali se u budućnosti može očekivati povećanje pojave sekundarnog karcinoma osobito ako se ranije utvrdi oboljenje posebno kod mladih pacijenata. Do sada je radna grupa objavila niz radova simulacije radioterapije fotonima u vodenim fantomima [1], a veći broj radova ozračivanja vodenih i antropomorfnih dječjih fantoma, fotonima i protonima su u tisku ili u pripremi.

Cilj ovog rada je ispitivanje perifernih doza kod ginekološkog brahiterapijskog tretmana (BT). Brahiterapija je oblik radioterapije u kojem se zatvoreni izvor zračenja postavlja unutar ili pored područja koje treba tretirati. Uspješnost liječenja usporediva je s operativnim zahvatom ili radioterapijom s vanjskim snopom (EBRT), a u nekim slučajevima karakteristike BT daju određene prednosti. One se očituju u tome što je zračenje vrlo lokalizirano na područje oko izvora. U slučaju pomicanja tumora tijekom tretmana izvori zadržavaju svoju poziciju u odnosu na tumor. Također, tumor se može tretirati vrlo visokom dozom uz smanjenje nepoželjnog ozračivanja okolnog zdravog tkiva. Dok postoji velik broj radova koji se bave perifernim dozama u EBRT, za BT takvi radovi nedostaju.

Mjerenja su obavljenja u antropomorfnom fantomu korištenjem različitih tipova dozimetara. Mjerenja su uspoređena s dozama koje su predviđene sustavom za planiranje tretmana (TPS). Uspoređene su doze kod

upotrebe dva tipa aplikatora i dva modaliteta računanja doza: homogenim, u vodenom fantomu i algoritmom koji koristi korekcije za heterogenost.

MATERIJAL I METODE

Eksperimenti ozračivanja obavljeni su u “Medical Physics Department, Portuguese Institute of Oncology (IPO) Francisco Gentil”, Porto, Portugal. U eksperimentu je sudjelovalo 5 grupa sa sljedećim dozimetrima: TLD (LiF:Mg,Cu,P - MCP), SCK-CEN, Mol, Belgija; TLD (LiF:Mg,Cu,P – GR-200A), GAEC, Atena, Grčka; TLD (Al₂O₃:C), NPL, Prag, Češka; TLD (⁷LiF:Mg,Ti - MTS7), IFJ, Krakow, Poljska i RPL (GD-352M), IRB, Zagreb, Hrvatska.

U eksperimentima je simulirana terapija visoke brzine doze (*high dose rate*, HDR) korištenjem izvora ¹⁹²Ir (srednja energija 0,38 MeV). Ženski Alderson fantom posebno je modificiran: Izrađen je umetak od polietilena visoke gustoće ispunjen gelom (ekvivalentnom vodi) u koji su postavljani aplikatori. Za dozimetrijska mjerenja korištena su 23 sloja fantoma, a ukupno je bilo 112 mjernih položaja.

Korištena su dva tipa aplikatora: (1) cilindar i (2) kolpostat. S prvim aplikatorom obavljena su dva zračenja, u prvom su u fantomu bili postavljeni MCP dozimetri, a u drugom GR-200A. S drugim aplikatorom obavljena su tri zračenja s dozimetrima Al₂O₃:C, MTS7 i RPL.

CT skeniranje je obavljeno s oba aplikatora. U svakom zračenju simuliranja brahiterapije doza u „tumoru“ bila je 21 Gy.

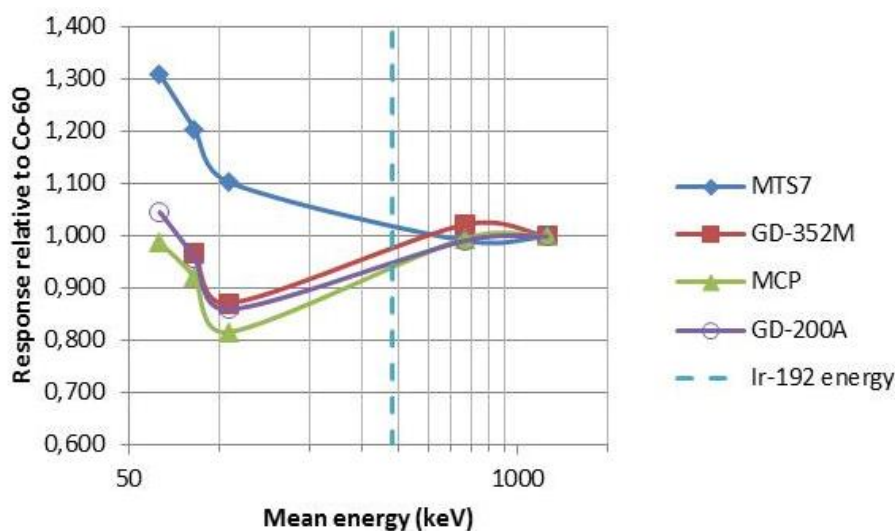
Za TPS računanja korištena su 2 modaliteta: za homogeni vodeni medij TG43 [2], a za heterogeni TG186 [3]. Za razliku od EBRT heterogeni algoritam je u BT uveden tek nedavno.

Svaka grupa kalibrirala je svoje dozimetre u vlastitim Standardnim dozimetrijskim laboratorijima ozračivanjima na izvoru ⁶⁰Co. Svi ispitivani dozimetri su dodatno zračeni različitim energijama X-zračenja, te ¹³⁷Cs i ⁶⁰Co u Standardnom dozimetrijskom laboratoriju GAEC-a (*Greek Atomic Energy Commission*) u Grčkoj. Iz kalibracijskih krivulja interpolacijom je određen korekcijski faktor za ozračivanje izvorom ¹⁹²Ir.

REZULTATI

Rezultati kalibracije dozimetara prikazani su na Slici 1. Oblici kalibracijskih krivulja za pojedine tipove dozimetara odgovaraju publiciranim rezultatima za termoluminiscentne dozimetre na osnovi LiF [4] i RPL dozimetre tip GD-352M (koji sadrže filter za kompenzaciju

energijske ovisnosti) [5]. Za termoluminiscentni dozimetar tip $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ korekcijski faktor je određen iz publiciranih rezultata [6].

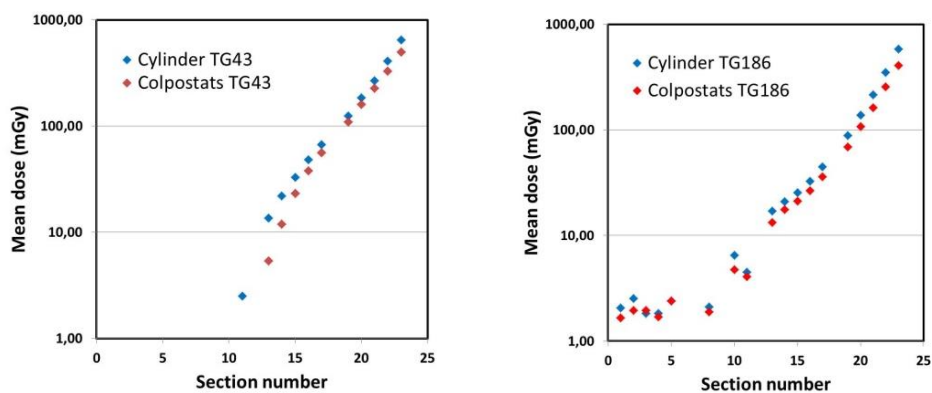


Slika 1. Energijska ovisnost ispitivanih dozimetara (u odnosu na ^{60}Co).

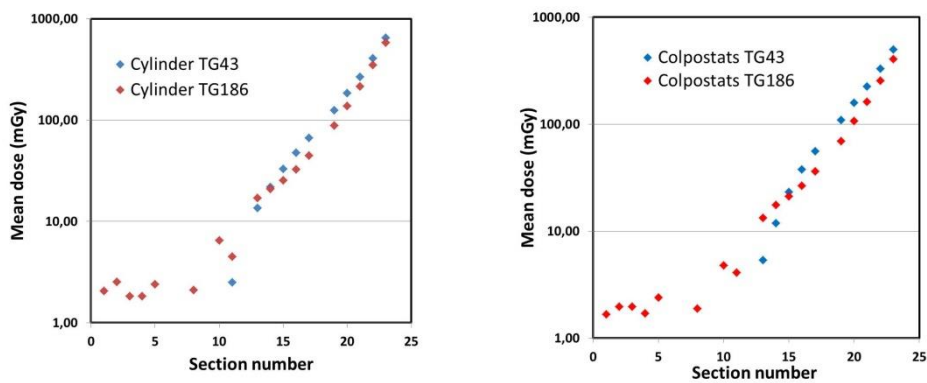
Korekcijski faktori za ^{192}Ir bili su sljedeći: MTS7: 0,974; GD-352M: 1,035; MCP: 1,080; GD-200A: 1,065 i $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$: 0,875.

Usporedbe raspodjela doza u pojedinim slojevima fantoma (slojevi 1-3 odgovaraju položaju mozga, a sloj 23 bubrega) za dva tipa aplikatora prikazani na Slici 2-lijevo za homogeni vodeni fantom i na Slici 2-desno za heterogeni fantom.

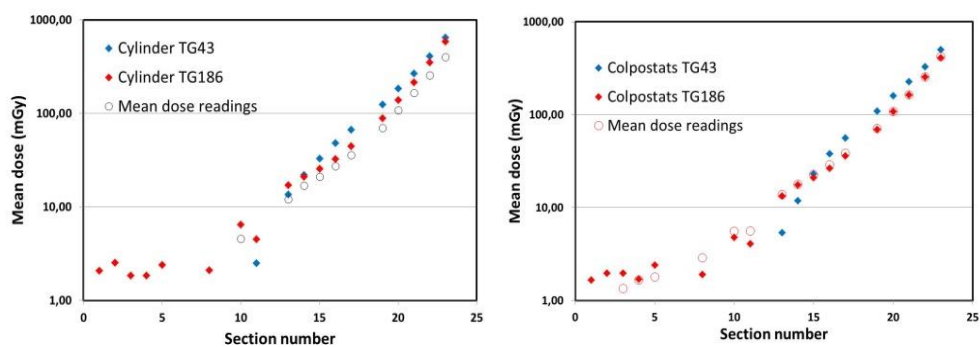
Na Slici 3 uspoređene su raspodjele doza u slojevima fantoma za modalitete računanja TG 43 i TG 186, lijevo za aplikator (1) cilindar i desno za aplikator (2) kolpostat. Na Slici 4 uspoređene su TPS raspodjele doza za TG 43 i TG 186 s dozimetrijskim mjerenjima. Lijevo: aplikator (1) cilindar i srednja vrijednost doza mjerenih dozimetrima MCP (SCK-CEN) i GR-200A (GAEC). Desno: aplikator (2) kolpostat i srednja vrijednost doza mjerenih dozimetrima $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ (NPI), MTS7 (IFJ) i RPL (IRB).



Slika 2. Usporedba doza u slojevima fantoma za dva tipa aplikatora: lijevo za homogeni vodeni fantom TG 43, desno za heterogeni fantom TG 186.



Slika 3. Raspodjele doza u slojevima fantoma za modalitete računanja TG 43 i TG 186, lijevo za aplikator (1) cilindar i desno za aplikator (2) kolpostat.



Slika 4. Usporedbe TPS raspodjele doza s očitanjima dozimetara; lijevo aplikator (1) cilindar, desno aplikator (2) kolpostat.

ZAKLJUČAK

- (i) Usporedba dva tipa aplikatora pokazuju da su periferne doze više za cilindar nego kolpostat za oba modaliteta TPS računa, TG 43 i TG 186. To je posljedica konstrukcije aplikatora i s aspekta perifernih doza kolpostat je bolji izbor kad su ova dva tipa aplikatora alternativne opcije.
- (ii) Usporedba dva modaliteta TPS računa, homogenog TG 43 i heterogenog TG 186 pokazuje da TG 43 račun predviđa više doze pri uporabi oba aplikatora. TG 186 predviđa doze za sve udaljenosti od tumora dok TG 43 daje račun samo do štitnjače.
- (iii) Uz aplikator (1) cilindar, srednje vrijednosti mjerenih doza su niže kod oba modaliteta računanja, rasponi od sloja 13 (pluća) do 23 (bubrezi) su 1,12 – 1,86 za TG 43 i 1,19 – 1,46 za TG 186. Ova razlika zahtijeva daljnju analizu.
- (iv) Uz aplikator (2) kolpostat, TPS doze za TG 186 pokazuju odlično slaganje s dozimetrijskim mjerenjima što pokazuje da TPS TG 186 daje realnija predviđanja perifernih doza.

LITERATURA

- [1] Miljanić S, Bordy J-M, d'Errico F, Harrison R, Olko P. Out-of-field dose measurements in radiotherapy – An overview of activity of EURADOS Working Group 9: Radiation protection in medicine. *Radiat. Meas.* 2014;71:270-275.
- [2] Nath R, Anderson L. L, Luxton G, Weaver K.A, Williamson J.F, Meigooni Y. S. Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. *American Association of Physics in Medicine, Med. Phys.* 1995;22:209-234.
- [3] Beaulieu L, Carlsson Tedgren A, Carrier J-F, Davis S. D, Mourtada F, Rivard, M. J, Thomson R. M, Verhaegen F, Waering F. T, Williamson J. F. Report of the Task Group 186 on Model-Based Dose Calculation Methods in Brachytherapy Beyond The TG43 Formalism: Current Status and Recommendations for Clinical Implementations. *Med. Phys.* 2012;39:6208-6236.
- [4] Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Knežević Ž, Vekić B. Main dosimetric characteristics of some tissue equivalent TL detectors. *Radiat. Prot. Dosim.* 2002;100:437-442.
- [5] Knežević Ž, Beck N, Milković Đ, Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Characterization of RPL and TL dosimetry systems and comparison in medical dosimetry applications. *Radiat. Meas.* 2011;46:1582-1585.
- [6] Rocha F. D. G, Caldas L. V. E, Characterization of Al₂O₃ sintered pellets for dosimetric applications in radiotherapy. *J. Radiol. Prot.* 1999;19:51-55.

PERIPHERAL DOSES IN GYNAECOLOGICAL BRACHYTHERAPY TREATMENT – IN-PHANTOM MEASUREMENTS VERSUS TPS CALCULATIONS – PRELIMINARY RESULTS

*Saveta Miljanić¹ and João A. M. Santos²
on behalf of EURADOS WG9*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Serviço de Física Médica, Instituto Português de Oncologia, Porto, Portugal
saveta@irb.hr

The main focus of EURADOS Working Group 9 (Radiation Dosimetry in Radiotherapy) has been dedicated to investigations of peripheral doses in radiotherapy.

Peripheral (out-of-field) doses in radiotherapy have been increasingly studied in recent years because of the generally improved survival of patients who have received radiotherapy as part of their treatment for cancer and their subsequent risk of a second malignancy.

Brachytherapy (BT) is a form of radiotherapy where a sealed radiation source is placed inside or next to the area requiring treatment. BT plays an important role in the curative management of cancers in variety of disease sites. In this work we have investigated peripheral doses in gynaecological BT treatment and have compared measurement dose values in anthropomorphic Alderson female phantom with treatment planning system (TPS) calculations. Two parts of irradiations by high dose-rate ¹⁹²Ir were carried out using two different types of applicators, No 1 cylinder and No 2 colpostats. CT scanning preceded irradiations with every applicator type. Dose in target volume was 21 Gy in both cases. For dose distribution measurements in phantom different dosimeters types (four TLDs and one RPL) from 5 institutes were used; phantom was loaded with certain type and irradiated. Preliminary results show that all dosimeters are in agreement within 10 % (1 SD) for out-of-field doses ranging from about 400 mGy to 2.5 mGy.

For TPS calculations two modalities were used: for homogeneous water medium (TG43) and taking into account corrections for heterogeneity (TG186).

MONTE CARLO MODEL OF SIEMENS ONCOR MEDICAL LINEAR ACCELERATOR

*Ana Ivković^{1,2}, Mladen Kasabašić^{1,2}, Marina Poje Sovilj³, Hrvoje Brkić¹ and
Dario Faj¹*

¹J. J. Strossmayer University, Faculty of Medicine, Osijek, Croatia

²University Hospital Osijek, Osijek, Croatia

³J. J. Strossmayer University, Department of Physics, Osijek, Croatia

hbrkic@mefos.hr

This study was conducted in order to determine neutron flux around Siemens Oncor medical linear accelerator 18 MV photon beam. We built the model of the accelerator using Monte Carlo N-Particle transport code (MCNP611) and verified it by comparing the characteristics of the photon beam with experimental measurements. Modeling of the accelerator head cover was of particular interest, since it is very often omitted from the simulations. Reconstruction of this part is not straight forward, since it has bending magnet and non-symmetric geometry. Also the manufacturer did not give any geometry specifications of the accelerator head cover in the primer, so besides quantities that can be measured, lot of parts should be assumed. From this reason three different compositions were simulated, so the final geometry can be interpolated from them to fit the experimental data. Detectors were set at three planes in the rectangular box with 2 m edge, where target is placed in box center, so the patient plane, plane above accelerator and plane on a side of the accelerator head were of our special interest. In the simulations we had altogether 61 detectors that enabled us to determine the neutron spectra, mean energies and neutron fluxes at points around accelerator head. Besides measured quantities, simulations also gave us the information of neutron place of origin (i.e. target, primary collimator, flattening filter, head cover...) and neutron flux energy spectra in detectors. Variance of Monte-Carlo simulations was reduced using DXTRAN spheres for each detector, which enabled us to calculate the contribution of any collision in the simulation, to the detectors. The computational results were compared with the experimental measurements that were performed at the same points (as in the computer simulations). Experimental results were obtained using passive detectors (CR-39) covered with boron (10B) foil as a converter. The measurements were corrected for energy dependence of detectors using the neutron spectra determined by MC simulations and boron cross-section. The results of Monte Carlo simulations and experimental results are in good agreement, although the accelerator table and vault were omitted in the simulation. Unlike the photon beam that is forwarded in one direction, neutron flux is much more uniform around the accelerator.

DOZE ZRAČENJA OD OSLIKAVANJA U RADIOTERAPIJI

*Iva Mrčela¹, Marin Gregov¹, Ana Pavić Grego¹, Tomislav Meštrović² i
Mirjana Budanec¹*

¹KBC Sestre milosrdnice, Zagreb

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Zagreb

iva.mrcela@kbcsm.hr

UVOD

Doze zračenja koje primaju pacijenti oslikavanjem u vanjskoj radioterapiji sve više su predmet interesa zbog povećane upotrebe različitih oslikavajućih tehnika te povećanja učestalosti izlaganja pacijenata. Pod pojmom slikom vođene radioterapije (engl. *image guided radiotherapy IGRT*) općenito se podrazumijevaju sve tehnike oslikavanja koje se koriste tijekom terapijskog procesa počevši od računalne tomografije (engl. *computed tomography CT*) za potrebe planiranja, odnosno CT simulacije do višestrukog oslikavanja kako bi se osigurala podudarnost u lokalizaciji isporučene doze prilikom fracionirane terapije [1]. U tu svrhu danas se često koriste uređaji za računalnu tomografiju konusnim snopom zračenja (engl. *cone beam CBCT*) integrirani s linearnim akceleratorom ili/i elektroničko portalno oslikavanje (engl. *electronic portal imaging EPID*) megavoltnim (MV) snopovima linerarnog akceleratora. Cilj ovog rada je procjena doza zračenja od oslikavanja u 3D konformalnoj IGRT te uključuje CT simulaciju i CBCT ili EPID. Provedena su mjerenja doza u najčešće korištenim kliničkim protokolima CT simulatora te CBCT-a. Uspoređeni su rezultati dobiveni s dva različita detektora, CT Dose Profiler (CTDP) poluvodičkog detektora te ionizacijske komorice Farmer tipa, kalibrirane u odgovarajućoj standardnoj kvaliteti zračenja.

MATERIJALI I METODE

CT simulator ispitivan u ovom radu je 16-slojni uređaj Toshiba Aquilion LB, za dva najčešće korištena protokola namijenjena za oslikavanje u području glave te abdomena odnosno zdjelice. CBCT uređaj je Elekta XVI integriran sa Synergy S linearnim akceleratorom. Ispitivanje doze provedeno je za 5 različitih kliničkih protokola koji su prilagođeni različitim anatomijama pacijenta (Tablica 1). Za sva mjerenja korišten je

standardni dvodijelni fantom od polimetilmetakrilata (PMMA), IBA *Adult head and body CT phantom*, dužine 15 cm te promjera dijelova od 16 i 32 cm. Za protokole koji su namijenjeni snimanju glave korišten je *head* dio dok su za sve ostale protokole mjerenja provedena u *body* fantomu.

Tablica 1. Parametri kliničkih protokola CT simulatora i XVI uređaja.

Toshiba Aquilion LB			Elekta XVI					
	CNS Head	Abdomen zdjelica		H&N S10	Pelvis M20	Chest M20	Prostate M10	Pelvis M15
kVp	120	120	kV	100	120	120	120	120
mAs	300	350	mAs	36,6	1056	264	1689	1056
FOV	S	L	rotacija	160°	360°	360°	360°	360°
N×T	1×16	1×16	dužina(mm)	135,42	276,7	276,7	135,42	178,5

Mjerenja doze napravljena su s dva različita dozimetrijska sistema. Korištena je detektorska sonda s tankim poluvodičkim senzorom namijenjena dozimetriji spiralnih CT uređaja; CT Dose Profiler Probe, zajedno s elektrometrom Barracuda i računalnom podrškom Ocean, sve RTI Electronics AB. Sonda je kalibrirana za mjerenje kerme u zraku u RQR9 kvaliteti, dok se odziv u različitoj kvaliteti zračenja automatski korigira u Ocean programu. Slijedeći novije preporuke za CT i CBCT dozimetriju [2] mjerenja su provedena i Farmer ionizacijskom komoricom volumena 0,6 cm³, model TM30013, i elektrometrom UnidosE, proizvođača PTW Freiburg. Komorica i elektrometar zajedno su kalibrirani u sekundarnom standardnom laboratoriju u RQT9 kvaliteti za mjerenja kerme u zraku; $N_k = 48,55 \text{ mGy/nC}$. Standardna CT dozimetrija temelji se na mjerenju kerme odnosno doze u zraku iako se mjerenja provode u plastičnim fantomima [3], tako da dobivene vrijednosti odražavaju dozni izlaz uređaja, a ne odgovaraju u potpunosti dozi u vodi, ili dozi koju primi pacijent. Iz mjerenja provedenih Farmer komoricom, te mjerenja sloja poluapsorpcije (engl. *half value layer HVL*) za ispitivane uređaje, odnosno protokole, izračunate su i doze u vodi prema [4] uzimajući u obzir omjere masenih energijskih koeficijenta apsorpcije za zrak i vodu u vodi, bez korekcije za nereferentne uvjete. HVL je izmjeren pomoću MPD sonde i Barracuda elektrometra, RTI Electronics AB, u XVI planarnom modu oslikavanja.

Mjerenja su provedena sljedećim redoslijedom: CTDP sondom određene su vrijednosti uobičajenih CT doznih indeksa na Toshiba Aquilion uređaju, a s obzirom da se radi o točkastom detektoru dobivena je i kumulativna doza u centru fantoma prilikom spiralnog skena. Isto mjerenje

doze u centru fantoma ponovljeno je i s Farmer komoricom kako bi se provjerilo slaganje među detektorima. Mjerenja na Elekta XVI uređaju napravljena su u centru odgovarajućih fantoma za protokole navedene u Tablici 1 s oba detektora. Detaljnija mjerenja koja uključuju i mjerenja doze u perifernim točkama fantoma izvršena su za protokole Pelvis M20 i Head S10. Iz ovih mjerenja izračunat je težinski dozni indeks DI_w analogno definiciji $CTDI_w$ indeksa:

$$DI_w = 1/3 D_{centar} + 2/3 D_{periferno} \quad (1)$$

Ova veličina, uz različitu nomenklaturu, često se koristi za opis doze u CBCT-u [1,5,6,7]. Kako bi mogli uspoređivati iste dozne veličine, na jednak način je napravljeno i mjerenje s Farmer komoricom na Toshiba CT simulatoru.

Napravljena je i procjena doza u CT fantomu za portalno oslikavanje megavoltnim snopovima integriranim uređajem Elekta IviewGT. Doze u centru fantoma izračunate su računalnim sistemom za planiranje radioterapije (engl. *treatment planning system* TPS) Elekta XiO, obzirom da se radi o oslikavanju terapijskim fotonskim snopom kvalitete 6 MV.

REZULTATI

Mjerenja standardnih dozних indeksa CTDP probom na Toshiba Aquilion uređaju pokazala su slaganje s proizvođačkim vrijednostima unutar tolerancije za protokole iz Tablice 1. Iz rezultata mjerenja doze u centrima fantoma te u zraku, može se zaključiti da postoji dobro slaganje između detektora (Tablica 2). U obradi rezultata svih mjerenja izračunate su standardne devijacije očitavanja detektora u tri ponovljena mjerenja.

Tablica 2. Doze u centru CT *body* i *head* fantoma, te u zraku (*free in air*) za Toshiba Aquilion. $\Delta (\%) = (D_{Farmer} - D_{CTDP})/D_{CTDP}$.

	CT Dose Profiler	Farmer komorica	$\Delta (\%)$
D_{centar} body (mGy)	$27,35 \pm 0,04$	$27,71 \pm 0,09$	1,3
D_{centar} head (mGy)	$58,71 \pm 0,07$	$58,49 \pm 0,06$	-0,4
Free in air (mGy)	$82,22 \pm 0,20$	$84,58 \pm 0,09$	2,9

Mjerenja na XVI uređaju u centru fantoma provedena su za sve protokole samo CTDP sondom, dok su protokoli Pelvis M20 i H&N S10 detaljnije ispitivani s oba detektora te su mjerene i doze u perifernim točkama fantoma (označene prema položajima na satu s 12, 3, 6 i 9) kako bi

se izračunala težinska doza prema (1) (Tablica 3). Vrijednosti doze u centru *body* fantoma bile su: $3,45 \pm 0,07$ mGy za Chest M20, $20,3 \pm 0,7$ mGy za Prostate M10 i $14,1 \pm 0,2$ mGy za Pelvis M15. Centralne doze za preostala dva protokola su dane u Tablici 3.

Tablica 3. Doze mjerene s oba detektora u centru i na perifernim točkama *body* i *head* fantoma za Elekta XVI uređaj.

detektor	CT Dose Profiler		Farmer komorica	
	Pelvis M20	H&N S10	Pelvis M20	H&N S10
D_{central} (mGy)	$13,8 \pm 0,2$	$0,95 \pm 0,03$	$14,7 \pm 0,2$	$0,85 \pm 0,03$
D_{12} (mGy)	$21,8 \pm 1,1$	$0,63 \pm 0,00$	$23,0 \pm 2,0$	$0,61 \pm 0,03$
D_3 (mGy)	$22,1 \pm 1,1$	$1,47 \pm 0,00$	$22,3 \pm 0,1$	$1,47 \pm 0,08$
D_6 (mGy)	$21,1 \pm 0,5$	$1,67 \pm 0,00$	$22,2 \pm 0,1$	$1,62 \pm 0,05$
D_9 (mGy)	$24,0 \pm 0,6$	$0,87 \pm 0,01$	$25,8 \pm 0,5$	$0,81 \pm 0,03$
D_w (mGy)	19,4	1,1	20,5	1,0

Napravljen je i proračun apsorbirane doze u vodi mjerene Farmer komoricom u fantomu prema [4], uz izmjerene vrijednosti za HVL koje su iznosile 5,26 mm Al za nominalnih 100 kV bez filtracije (F0) i 7,79 mm Al za 120 kV s filterom F1 koji se koristio u ostalim protokolima. Ovdje su doze izražene u cGy radi lakše usporedbe s vrijednostima iz literature. DI_w za Pelvis M20 u tom slučaju je iznosio 2,13 cGy, a za H&N S10 protokol 0,11 cGy, što je vrlo blisko rezultatima Songa i sur. [6] koji su objavili 2,4 cGy i 0,1 cGy za slične protokole (razlika u filtraciji za Pelvis M20 i kolimatoru S20 za H&N). DI_w za protokole CT simulatora uz izmjereni HVL od 8,53 mm Al iznosile su 4,83 cGy u *body* fantomu i 6,12 cGy u *head* fantomu za dužinu skena od 15 cm. Značajno veća vrijednost u *head* fantomu objašnjava se punom rotacijom i 120 kV za razliku od 160° i 100 kV u XVI protokolu. Potrebno je napomenuti kako je preporuka za mjerenja u CT i CBCT snopovima upotreba fantoma čija dužina značajno prelazi dužinu snopa u z smjeru [1,2] kako bi se uključili svi doprinosi od raspršenja, što nam nije bilo dostupno u ovom radu. Stoga je za očekivati da su izmjerene manje vrijednosti doza, i to za *body* fantom i do 20 % dok je u *head* fantomu očekivana razlika prema literaturi oko 1 % [5].

Doze u centru fantoma od oslikavanja EPID uređajem, za 2 monitorske jedinice (MU) fotonskim snopom 6 MV u izocentru, izračunate su TPS-om. Za *body* fantom veličina polja iznosila je 25×15 cm² a doza 1,5 cGy, dok je u *head* fantomu za polje 16×15 cm² doza iznosila 1,9 cGy, što je

gotovo 20 puta više za područje glave no vrlo blisko za tijelo ako se uspoređuje s vrijednostima u centru fantoma za XVI.

ZAKLJUČAK

Na temelju mjerenja u CT fantomima za CT simulator i CBCT XVI uređaj, procijenjeno je ukupno dozno opterećenje od oslikavanja tijekom radioterapijskog procesa, uz pretpostavku početne CT simulacije i svakodnevne provjere položaja CBCT-om. Za radioterapiju u području glave do najviše 35 frakcija ukupna doza izračunata prema DI_w indeksu (1) u CT fantomima iznosila bi približno 10 cGy, a u području zdjelice za do najviše 37 frakcija, približno 83 cGy. Osim toga, izmjerene vrijednosti doza u centru fantoma poslužit će kao parametri u redovnoj kontroli kvalitete uređaja, a Farmer ionizacijska komorica se pokazala kao odgovarajući detektor za tu svrhu. Za točnije vrijednosti mjerenih veličina trebalo bi provesti mjerenja u fantomima veće dužine, a za bolju procjenu pacijentskih doza od oslikavanja planiraju se mjerenja u antropomorfnim fantomima.

Zahvala Autori posebno zahvaljuju kolegama Jedinice za dozimetriju i radiobiologiju, IMI Zagreb, na posudbi mjerne opreme.

LITERATURA

- [1] Murphy MJ, Balter J, Balter S, Ben Como JA Jr, Das IJ, Jiang SB, Ma C-M, Olivera GH, Rodebaugh RF, Ruchala KJ, Shirato H, Yin F-F. The management of imaging dose during image guided radiotherapy: Report of the AAPM TG 75. *Med Phys* 2007;34(10):4041-4063.
- [2] Report of the AAPM TG111: Comprehensive Methodology for the Evaluation of the Radiation Dose in X-ray Computed Tomography. AAPM 2010.
- [3] IAEA. Dosimetry in diagnostic radiology: An International Code of Practice, Technical Report Series No 457. IAEA Vienna 2007.
- [4] Ma C-M, Coffey CW, DeWerd LA, Liu C, Nath R, Seltzer CM, Seuntjens JP. AAPM TG 61 protocol for 40–300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology. *Med Phys* 2001;28 (6):868-893.
- [5] Hu N, McLean D. Measurement of radiotherapy CBCT dose in phantom using different methods. *Australas Phys Eng Sci Med* 2014;37:779-789.
- [6] Song WE, Kamath S, Ozawa S, Al Ani S, Chvetsov A, Bhandare N, Palta JR, Li JG. A dose comparison study between XVI® and OBI® CBCT systems. *Med Phys* 2008;35(2):480-486.
- [7] Sykes JR, Lindsey R, Iball G, Thwaites DI. Dosimetry of CBCT: methods, doses and clinical consequences. *Journal of Physics: Conference Series* 444 2013;012017.

IMAGING DOSES IN RADIOTHERAPY

*Iva Mrčela¹, Marin Gregov¹, Ana Pavić Grego¹, Tomislav Meštrović² and
Mirjana Budanec¹*

¹UHC Sestre milosrdnice, Zagreb, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
iva.mrcela@kbcsm.hr

Investigation of the imaging doses in external beam 3D conformal image guided radiotherapy (IGRT); from CT simulation to patient positioning verification during treatment by means of linac integrated kV cone beam CT (CBCT) and/or electronic portal imaging (EPID) device is presented in this work. An extensive set of dose measurements in standard PMMA CT head (16 cm) and body (32 cm diameter) phantoms were done for most frequently used clinical protocols of CT simulator unit Toshiba Aquilion LB and Elekta XVI system CBCT. Measurements with two different dosimetry systems; CT Dose Profiler (CTDP) solid state probe with Barracuda meter (RTI Electronics AB) dedicated to helical CT dosimetry and PTW Farmer type ionization chamber of 0.6 cm³ volume calibrated in RTQ9 beam quality, were compared. Suitability of Farmer chamber, usually employed for dose measurements in radiotherapy beams, was confirmed by good agreement with CTDP probe, in head and body phantom center and free in air at Toshiba CT unit. More detailed measurements that included positioning detectors at the center and peripheral holes of the phantoms were conducted for H&N S10 (100 kV) and Pelvis M20 (120 kV) XVI protocols with both detectors, and weighted point dose index DI_w analogue to CTDI definition was calculated. Dose to water measured in phantom DI_w were 2.3 cGy for Pelvis and 0.11 cGy for H&N protocol. Similar measurements for 15 cm scan length of Toshiba Head and Body protocols yielded 6.12 cGy and 4.83 cGy, respectively.

Furthermore, absorbed doses in the center of the CT phantom were calculated with radiotherapy treatment planning system for EPID imaging with 2MU of 6MV photon beam at isocenter and they were 1.5 cGy for body and 1.9 cGy for head phantom.

IZLOŽENOST IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU U DENTALNOJ MEDICINI

Robert Bernat, Nikolina Mišak i Maja Vojnić Kortmiš

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

rbernat@irb.hr

UVOD

Stomatološke rendgenske snimke su koristan alat u dijagnosticiranju i liječenju oralnih bolesti poput karijesa, parodontnih bolesti i oralne patologije. Iako su doze zračenja u stomatološkoj radiografiji niske, izloženost zračenju treba svesti na minimum gdje je to moguće. Na stomatologu je donošenje odluke o potrebi radiografske snimke i riziku izloženosti zračenju. Kako bi se smanjila izloženost zračenju treba slijediti ALARA načelo - “*as low as reasonably achievable*”. Osnovne ALARA smjernice su: vrijeme – smanjiti vrijeme boravka u blizini izvora zračenja; udaljenost – povećati udaljenost od izvora zračenja i štit – korištenje zaštitnih sredstava kada je to moguće [1].

Iako stomatolozi primaju manje doze X-zračenja nego drugi zdravstveni radnici, mjere zaštite operatera su neophodne. Mjere zaštite uključuju obrazovanje, provođenje programa zaštite od ionizirajućeg zračenja, kontrolu doza nastalih izlaganjem ionizirajućem zračenju, korištenje osobnih dozimetara i štita. Detaljne preporuke za zaštitu radnika u području ionizirajućeg zračenja dane su u Dodatku I „*Basic Safety Standards*“ (BSS) [2]. Preporuke kako realizirati mjere zaštite dane su u IAEA *Safety Guides*: „*Occupational Radiation Protection (Safety Standards Series No. RS-G-1.1)*“, „*Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation (Safety Standards Series No. RS-G-1.3)*“. Dodatni savjeti o realizaciji istih nalaze se u IAEA izdanju „*Applying Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures using X Rays (Safety Report Series No. 39)*“ [3].

Kako bi osobni dozimetrijski nadzor bio učinkovit, osobni dozimetri te radiološki detektori moraju biti umjereni u jedinicama koje mogu odrediti efektivnu ili ekvivalentnu dozu.

Efektivna doza predstavlja uniformnu dozu koju bi apsorbiralo cijelo tijelo, a koja rezultira jednakim rizikom kao neuniformna ekvivalentna doza. Za X-zračenje, numerički je jednaka apsorbiranoj dozi. Ova veličina

omogućuje ocjenu rizika zbog primljene doze, ali nije mjerljiva, stoga su se uvele mjerljive operativne veličine koje je definirao ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*) - osobni dozni ekvivalent Hp(d) (Sv) [4].

Hp(10) je operativna veličina koja omogućuje ocjenu efektivne doze cijelom tijelu, Hp(0,07) omogućuje ocjenu ekvivalentne doze kože te Hp(3) se koristi za ocjenu doze leće oka.

Osnovna svrha programa nadgledanja je pratiti da osoblje ne prijeđe granice ozračenja.

Efektivna doza izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima tijekom rada biti veća od 100 mSv u razdoblju od pet uzastopnih godina, uz uvjet da niti u jednoj godini petogodišnjeg razdoblja efektivna doza ne smije biti veća od 50 mSv.

Ekvivalentna doza za očne leće izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima rada biti veća od 150 mSv u jednoj godini (prema važećem pravilniku). Ekvivalentna doza za podlaktice, šake, stopala ili kožu izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima rada biti veća od 500 mSv u jednoj godini, usrednjena preko 1 cm² površine bilo kojeg dijela kože, neovisno o dijelu kože koji je ozračen [1].

Ovaj rad obuhvatit će medicinsko ozračenje operatera intraoralnog rendgenskog uređaja nastalo ispravnim, ali i neispravnim rukovanjem rendgenskim uređajem.

MATERIJAL I METODE

Prema važećim propisima, operater intraoralnog i panoramskog rendgenskog uređaja, za vrijeme eksponiranja treba se nalaziti izvan prostorije u kojoj se nalazi rendgenski uređaj ili iza zaštitnog stakla zadovoljavajuće zaštitne moći. U praksi, operateri intraoralnog rendgenskog uređaja nalaze se u istoj prostoriji kao i pacijent te se eksponiranje vrši na način da korisni snop rendgenskog uređaja nije usmjeren u operatera (osim u slučajevima pravnih osoba koje obavljaju samo djelatnost rendgenskog snimanja, a ne i stomatološku djelatnost; tada se operateri nalaze u susjednoj prostoriji) [6].

Za vrijeme godišnjih ispitivanja rendgenskih uređaja uočena su sljedeća neispravna rukovanja rendgenskim uređajima:

- pridržavanje senzora pri čemu se ekstremiteti operatera nalaze u korisnom snopu
- snop usmjeren u operatera ili drugog izloženog radnika

- nepoštivanje udaljenosti kao načina zaštite
- stanovništvo se nalazi u prostoriji za vrijeme eksponiranja rendgenskog uređaja.

Za potrebe ovog rada napravljeno je nekoliko mogućih scenarija, a korištena je sljedeća oprema: intraoralni zubni rendgen Kodak 2200, olovno staklo 1 mm Pb, TL dozimetri za cijelo tijelo (Hp(10)), TL dozimetri za očnu leću (Hp(3)), TL dozimetri za ekstremitete-prste (Hp(0,07)), Multimetar Raysafe Xi, Alderson Rando fantom odraslog čovjeka, ISO fantomi: vodeni fantom $20 \times 20 \times 15 \text{ cm}^3$ za cijelo tijelo, cilindrični vodeni fantom $20 \times 20 \text{ cm}^2$ te akrilni fantom $300 \times 19 \text{ mm}^2$.

Mjerenja su napravljena kroz pet dana, svaki dan napravljeno je pet ekspozicija (70 kV, 7 mA, 0,160 s), a rezultati su prikazani kao dnevne i mjesečne doze.

REZULTATI

U Tablici 1 dan je pregled korištenih scenarija. Scenariji 1-3 odnose se na primljenu dozu operatera, a scenarij 4 odnosi se na primljenu dozu pacijenta. Scenarij 5 je zaseban slučaj gdje je dozimetar ostavljen neposredno u blizini rendgenskog uređaja; visi s ruke rendgenskog uređaja.

U Tablici 2 dan je pregled doza (efektivnih i ekvivalentnih) po pojedinom scenariju. Doze su iskazane kao mjesečne doze uz pretpostavku da je u jednom danu napravljeno 5 standardnih ekspozicija za snimanje kutnjaka (70 kV, 7 mA, 0,160 s).

Ulazne kožne doze mjerene multimetrom Raysafe Xi, nekoliko su puta manje od izmjerenih doza jer isti ne mjeri doprinos raspršenog zračenja.

Tablica 1. Pregled korištenih scenarija.

	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 4
Položaj cijevi / operatera / fantoma / pacijenta	cijev je usmjerena prema operateru	cijev je usmjerena prema glavi pacijenta, fantom se nalazi sa stražnje strane tubusa	cijev je usmjerena prema glavi pacijenta, operater pridržava senzor	cijev je usmjerena u zub pacijenta
Udaljenost fokus – površina Alderson Rando fantoma / prstiju operatera [cm]	100	20	22	30
Pozicije dozimetara za Hp(10)	štitnjača, abdomen, lijeva strana prsa	2 × štitnjača, abdomen, lijeva strana prsa	2 × štitnjača, abdomen, lijeva strana prsa	2 × štitnjača, abdomen, lijeva strana prsa
Pozicije dozimetara za Hp(0,07)	prsti desne ruke	prsti desne ruke	prsti desne ruke	prsti desne ruke
Pozicije dozimetara za Hp(3)		lijevo i desno oko (sljepoočnica)		lijevo i desno oko (sljepoočnica)

Tablica 2. Izmjerene mjesečne doze (uz pretpostavku da je napravljeno 5 ekspozicija dnevno, 20 radnih dana).

Veličina	Pozicija	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 4**	Scenarij 5
Hp(10) / mSv	Štitnjača	0,42	0,38	0,34	0,99	/
	Abdomen	1,53	0,28	0,28	0,06	/
	Lijevo strana prsa	8,65	0,34	0,36	0,08	0,10*
Hp(0,07) / mSv	Prsti desne ruke	0,34	0,22	210,49	0,07	/
Hp(3) / mSv	Lijevo oko	/	0,28	/	0,18	/
	Desno oko	/	0,20	/	0,13	/

* Dozimetar za Hp(10) visi uz rendgen uređaj.

** Samo jedna ekspozicija

ZAKLJUČAK

Napravljena su mjerenja s pet potencijalnih scenarija od kojih neki uključuju i neispravno rukovanje rendgenskim uređajem, odn. rukovanje suprotno od onog propisanog Pravilnicima koji uređuju ovo područje [6]. Najveća doza na pacijenta izmjerena je na mjestu štitnjače, ali u realnosti (uzevši u obzir broj ekspozicija, odn. broj slikanja zuba mjesečno) ta je doza 20-30 puta manja. Očekivano, najveća doza izmjerena je na ekstremitetima ruke kojom se pridržava senzor, a godišnja doza primljena na ovaj način četiri je puta veća od propisanih granica. Najveća efektivna doza izmjerena je u scenariju kada je, također neispravno, snop rendgenskog uređaja bio usmjeren direktno u operatera. Za scenarije u kojima se operater za vrijeme ekspaniranja nalazi sa stražnje strane rendgenske cijevi, nisu izmjerene povišene doze (osim za slučaj pridržavanja senzora). Dozimetar koji se za vrijeme rada nalazi uz ruku rendgen uređaja ne pokazuje povišenu efektivnu dozu. Pridržavajući se načela zaštite od zračenja za vrijeme korištenja intraoralnog rendgenskog uređaja, nije moguće dobiti doze izvan granica propisanih zakonom. Efektivne, ali i ekvivalentne doze koje primi pacijent za vrijeme snimanja zuba su niske i iznose oko 50 μSv po rendgenskoj snimci (ekvivalentna doza štitnjače). Potencijalna šteta od ionizirajućeg zračenja se dijeli na determinističke i stohastičke efekte. Deterministički efekti nisu uočeni kod dentalnih snimanja. Stohastički efekti kao što su rak, genetski učinci mogu nastati i u slučaju dentalnih snimanja [8].

LITERATURA

- [1] Pravilnik o granicama ozračenja (NN 59/13)
- [2] IAEA [General Safety Requirements Part 3](#), 2014
- [3] Loya M, Sanín LH, González PR, Ávila O, Duarte R, Ojeda SL, Montero-Cabrera ME. Measurements of radiation exposure of dentistry students during their radiological training using thermoluminescent dosimetry. *Applied Radiation and Isotopes*; 2016;107:234-238.
- [4] International Commission on Radiation Units and Measurements Report 39, *Determination of Dose Equivalents from External Radiation Sources*, 1985
- [5] https://humanhealth.iaea.org/HHW/MedicalPhysics/TheMedicalPhysicist/Studentscorner/HandbookforTeachersandStudents/Chapter_24.pdf; 27. 2. 2016.
- [6] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje (NN 41/13)
- [7] The use of dental radiographs, *JADA* 2006;137:1304-12.
- [8] https://humanhealth.iaea.org/HHW/MedicalPhysics/TheMedicalPhysicist/Studentscorner/HandbookforTeachersandStudents/Chapter_24.pdf ;8. 3. 2017.

EXPOSURE TO IONIZING RADIATION IN DENTISTRY

Robert Bernat, Nikolina Mišak, Maja Vojnić Kortmiš
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
rbernat@irb.hr

The measurements of the five potential scenarios, some of which include misuse of X-ray device and handling the opposite of what the prescribed by regulations governing this area were performed.

The highest patient dose was measured at the position of the thyroid, but in reality (given the number of exposures, ie. the number of dental images per month), this dose is 20-30 times lower.

As expected, the highest dose was measured at the extremities (fingers) which adheres to the sensor and the annual dose received in this way is four times higher than the prescribed limits.

The maximum effective dose was measured in a scenario where, also incorrectly, beam of the X-ray unit was directed directly to the operator.

For scenarios in which the operator during the exposure stands at the back of the X-ray tube is not measured elevated doses (except for the case of adherence to the sensor).

The dosimeter, which is mounted to the hand of the X-ray machine during operation, does not show an increased effective dose.

Abiding by the principles of radiation protection when using intraoral dental X-ray unit, it is not possible to get out of the dose limits prescribed by law. Effective, but also the equivalent dose received by the patient during the exposure of the teeth are low as about 50 μSv per radiograph (equivalent dose of thyroid).

PRELIMINARNA ISPITIVANJA NIVOA DOZE ZA PACIJENTE ZA RAZLIČITE TIPOVE PRIJEMNIKA SLIKE U INTRAORALNOJ STOMATOLOŠKOJ RADIOLOGIJI U REPUBLICI SRBIJI

Zoran Mirkov¹, Jovana Nikolov², Olivera Ciraj-Bjelac^{3,4} i Stefan Rafajlović⁵

¹Institut za medicinu rada Srbije "Dr Dragomir Karajović", Beograd, Srbija

²Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija

³Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

⁴Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija

⁵Agencija za zaštitu od jonizujućih zračenja i nuklearnu sigurnost Srbije, Beograd, Srbija,

zoran.mirkov@institutkarajovic.rs

UVOD

Kao prijemnici slike u intraoralnoj stomatološkoj radiologiji, koriste se: filmovi D, E i F klase, i digitalni prijemnici: sistemi fosfornih ploča (engl. *storage phosphor plate* (SPP)) i digitalni senzori (engl. *charged-couple-device* (CCD) i *complementary metal oxide sensor* (CMOS)).

Veoma važan alat za obezbeđenje i proveru standarda dobre prakse, kao ispomoć za optimizaciju radiološke zaštite pacijenata i kvaliteta slike, procenu doza za tkiva i organe za pacijente koje su neophodne za procenu rizika od zračenja [1], od strane međunarodnih organizacija koje se bave ovom problematikom promoviše se određivanje dijagnostičkih referentnih nivoa (engl. *Diagnostic reference level* (DRL)) [2,3], koji su formulisani i nacionalnom zakonskom regulativom [4]. To se smatra prvim korakom ka uspostavljanju optimalnih uslova za dobijanje kvalitetne dijagnostičke slike.

U svrhu optimizacije doza za pacijente i određivanje preliminarnih vrednosti lokalnih DRL izvršeno je ispitivanje vrednosti proizvoda kerme u vazduhu i površine (engl. *kerma area product* (KAP)) za različite tipove prijemnika slike.

MATERIJAL I METODE

Za potrebe ovog rada ispitan je 31 intraoralni stomatološki rendgen aparat na različitim lokacijama u Republici Srbiji. U zavisnosti od proizvođača, razlike u tehničkim karakteristikama ispitivanih rendgen-

aparata se ogledaju u nominalnom naponu (50-70 kV) i struji (7-10 mA) rendgenske cevi, dužini (10-31 cm) i prečniku (5-6 cm) tubusa i filtraciji (1,5 - 3,2 mmAl)).

Prilikom ispitivanja KAP vrednosti, korišćen je VacuDap (VacuTec Masstechnik GmbH, Germany). Sva merenja su ponovljena po 5 puta radi provere stabilnosti uređaja, a rezultati su statistički obrađeni. Merene su veličine, proizvod kerme i površine (KAP (mGy cm^2)) prilikom eksponiranja sekutića, očnjaka i kutnjaka, gornje i donje vilice odrasle osobe standardne građe.

Nominalni naponi i jačine struje rendgenske cevi su fiksne vrednosti, te razliku u isporučenoj dozi za pacijenta određuje vreme ekspozicije. Vreme ekspozicije, za svaki od prijemnika slike, je dato u skladu sa dijagnostičkim zahtevima, za odraslu osobu standardne građe.

REZULTATI

Rezultati ispitivanja dani su u Tabelama 1 – 5 za svaki prijemnik slike zasebno.

Pri poređenju vrednosti koje su dobijene u radovima koji su se bavili prijemnicima slike, filmovima D i E klase (Tabele 1 i 2), zaključak je bio da se doza smanjuje za dva puta u korist drugih [5, 6]. Razlika u vrednostima koje su dobijene u ispitivanjima koje se bavi ovaj rad, su 3,5 puta veće u slučaju prijemnika slike filmova D klase u odnosu na prijemnike slike filmova klase E. Doprinos ovakvoj razlici su, među ispitivanim uređajima, veliki broj pomenutih tehnološko starijih rendgen-aparata (monofazni generatori), koji isključivo koriste filmove D klase, sa nominalnim naponom rendgenske cevi od 50 kV, dužim vremenima ekspozicije (0,6 – 1,0 s), filtracijom od 1,5 mmAl i dužinom tubusa od 10 cm, što dodatno prilaže uvećanju doza [6].

Rezultati ispitivanja za prijemnik slike, film klase E, u skladu su sa istraživanjima sličnog tipa [7-9].

Ispitivanja u radovima koja pominju poređenje merenih vrednosti prijemnika slike filmova klase E i F [6-8] ukazuju na manje vrednosti doza za pacijente u korist F filmova od 20 do 25 %, dok su vrednosti u ovom radu (Tabela 3) oko 20 % manje, pri čemu su merenja vršena na istim rendgen-aparatima, što je u skladu sa pomenutim.

Kao i u prethodna dva slučaja, dobijeno je solidno poklapanje sa radovima koji su se bavili poređenjem doza između filmova i digitalnih prijemnika slike, odnosno SPP. Ispitivane vrednosti CCD i SPP (Tabele 4 i 5) su za oko 20 % manje od izmerenih za prijemnike slike na bazi filmova.

Cilj svih pomenutih istraživanja u radovima, kao što je i ovaj, je svakako optimizacija pacijentnih doza i prakse za obavljanje standardnih dijagnostičkih i tehničkih postupaka, u radu sa ovim uređajima.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja: prijemnik slike film klase D.

Merenje br.	Sr. vred. \pm Std. dev. (min - max)		Medijana	
	Donja vilica	Gornja vilica	Donja vilica	Gornja vilica
Sekutići	70,6 \pm 2,3 (25,2 – 148,4)	73,1 \pm 2,6 (25,2 – 175,0)	68,6	75,6
Očnjaci	83,2 \pm 3,5 (25,2 – 222,6)	88,1 \pm 3,4 (32,2 – 222,6)	74,2	74,9
Kutnjaci	113,4 \pm 4,1 (32,2 – 268,8)	125,0 \pm 4,1 (43,4 – 268,8)	105,0	116,2

Tabela 2. Rezultati ispitivanja: prijemnik slike film klase E.

Merenje br.	Sr. vred \pm Std. dev. (min - max)		Medijana	
	Donja vilica	Gornja vilica	Donja vilica	Gornja vilica
Sekutići	27,0 \pm 0,5 (11,2 – 42,2)	30,0 \pm 0,7 (15,4 – 56,0)	28,0	28,0
Očnjaci	31,4 \pm 0,9 (11,2 – 58,8)	36,8 \pm 1,0 (12,6 – 72,8)	33,6	35,7
Kutnjaci	37,9 \pm 1,3 (14,0 – 92,4)	44,4 \pm 1,2 (21,0 – 91,0)	35,0	37,8

Tabela 3. Rezultati ispitivanja: prijemnik slike film klase F.

Merenje br.	Sr. vred \pm Std. dev. (min - max)		Medijana	
	Donja vilica	Gornja vilica	Donja vilica	Gornja vilica
Sekutići	23,8 \pm 0,2 (22,4 – 28,0)	23,8 \pm 0,2 (22,4 – 28,0)	22,4	22,4
Očnjaci	29,4 \pm 0,2 (28,0 – 33,6)	29,4 \pm 0,2 (28,0 – 33,6)	28,0	28,0
Kutnjaci	37,8 \pm 0,2 (35,0 – 43,4)	45,9 \pm 0,2 (43,4 – 50,4)	36,4	44,8

Tabela 4. Rezultati ispitivanja: prijemnik slike CCD.

Merenje br.	Sr. vred \pm Std. dev. (min - max)		Medijana	
	Donja vilica	Gornja vilica	Donja vilica	Gornja vilica
Sekutići	13,4 \pm 0,5 (5,6 – 21,0)	13,4 \pm 0,5 (5,6 – 21,0)	16,8	16,8
Očnjaci	17,4 \pm 0,6 (7,0 – 28,0)	17,4 \pm 0,6 (7,0 – 28,0)	22,4	22,4
Kutnjaci	17,5 \pm 0,9 (9,8 – 33,6)	22,4 \pm 1,1 (9,8 – 42,0)	17,5	22,4

Tabela 5. Rezultati ispitivanja: prijemnik slike SPP.

Merenje br.	Sr. vred \pm Std. dev. (min - max)		Medijana	
	Donja vilica	Gornja vilica	Donja vilica	Gornja vilica
Sekutići	8,4 \pm 0,0 (8,4 – 8,4)	12,6 \pm 0,0 (12,6 – 12,6)	8,4	12,6
Očnjaci	9,8 \pm 0,0 (9,8 – 9,8)	16,8 \pm 0,0 (16,8 – 16,8)	9,8	16,8
Kutnjaci	22,4 \pm 0,0 (22,4 – 22,4)	22,4 \pm 0,0 (22,4 – 22,4)	22,4	22,4

ZAKLJUČAK

Ispitivane vrednosti za film klase D, u ovom radu, se razlikuju u odnosu na ostale prijemnike E, F, CCD i SPP, od 5 do 9 puta, što je u skladu sa istraživanjima sličnog karaktera. Ovaj rezultat nije samo razlika u ispitivanim prijemnicima slika, već i u tehnološkoj razlici ispitivanih rendgen-aparata u zemlji. Zamena novijim rendgen-aparatima u državnim ustanovama, kao i primena optimalnijih operativnih faktora doprinela bi značajno smanjenju doza za pacijente u zemlji, za ovaj vid dijagnostike.

Određene su osnovne vrednosti lokalnih DRL za kutnjake gornje vilice, za prijemnike slike filmova klase D – 148,4 mGy cm²; film klase E – 51,8 mGy cm²; film klase F – 44,8 mGy cm²; CCD – 36,4 mGy cm² i SPP – 22,4 mGy cm².

LITERATURA

- [1] Dosimetry in diagnostic radiology, an international code of practice, Technical Report Series TRS 457. International Atomic Energy Agency (2007).
- [2] ICRP, 2007. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6).
- [3] IPEM. Guidance on the establishment and use of diagnostic reference levels for medical X-ray examinations. IPEM/BIR/CoR/NRPB/RCR Joint Working Party Draft (2002).
- [4] Pravilnik o primeni izvora jonizujućih zračenja u medicini (Sl. Gl. RS 1/12 od 11.01.2012).
- [5] Wong A, Monsour PA, Moule, AJ, Basford KE. A comparison of Kodak Ultraspeed and Ektaspeed Plus dental X-ray films for the detection of dental caries. Australian Dental Journal 2002;47:(1):27-29.
- [6] European Commission. European guidelines on radiation protection in dental radiography: the safe use of radiographs in dental radiology. Radiat Prot 136, 41–42 (2004).
- [7] Manousaridis G, Koukorava C., Hourdakis CJ, Kamenopoulou V. Yakoumakis E, Tsiklakis K. Establishment of diagnostic reference levels for dental intraoral radiography, Radiat Prot Dosim 2013;156: 455-457.
- [8] Han S, Lee B, Shin G, Choi J, Kim J, Park C, Park H, Lee K, Kim Y. Dose area product measurement for diagnostic reference levels and analysis of patient dose in dental radiography. Radiat Prot Dosim. 2012: 150(4):523-31.
- [9] Poppe B, Looe HK, Pfaffenberger A, Eenboom F, Chofoor N, Sering M, Rühmann A, Poplawski A, Willborn K. Radiation exposure and dose evaluation in intraoral dental radiology. Radiat Prot Dosim 2007;123(2): 262-267.

PRELIMINARY TEST LEVEL OF DOSE FOR PATIENTS FOR VARIOUS TYPES OF IMAGE RECEIVER OF INTRAORAL DENTAL RADIOLOGY IN SERBIA

*Zoran Mirkov¹, Jovana Nikolov², Olivera Ciraj-Bjelac^{3,4} and
Stefan Rafajlović⁵*

¹Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović",
Belgrade, Serbia

²University of Novi Sad, Faculty of Science, Novi Sad, Serbia

³University of Belgrade, School of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia

⁴University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade,
Serbia,

⁵Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Belgrade, Serbia
zoran.mirkov@institutkarajovic.rs

We have tested value of the product of kerma in air and surface (kerma area product (KAP)) on 31 intra-oral X-ray units at different locations in the Republic of Serbia, in order to optimize the dose for patients. As image receptors are used films of class D, E and F, phosphor plate systems (storage phosphor plate (SPP)) and digital sensors (charged-couple-device (CCD)). The exposure time for each image receptors is given in accordance with the diagnostic requirements for incisors, canines and molars, upper and lower jaw. The measured values for the median molars of the upper jaw, the tested doses ranging from 22.4 to 116.2 mGy cm². The tested values for film class D, are different compared to other receptors E, F, CCD and SPP, from 5 to 9 times, which is consistent with studies of similar character.

IZLOŽENOST PACIJENTA TIJEKOM I NAKON DIJAGNOSTIKE ŠTITNJAČE POMOĆU ^{99m}Tc

Marija Surić Mihić¹, Ozren Vugrinec², Iva Mrčela³, Gordana Marović¹ i
Jasminka Senčar¹

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb,

²Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb

³Klinički bolnički centar Sestre milosrdnice, Zagreb

msuric@imi.hr

UVOD

Izloženost pacijenata u različitim medicinskim postupcima uvelike doprinosi ukupnoj izloženosti stanovništva Hrvatske. Kako radiofarmaci nalaze sve širu i češću primjenu u medicinskim dijagnostičkim i terapijskim postupcima, potrebno je, slijedeći preporuke ICRP-a (*International Commission of Radiaton Protection*) o individualizaciji procjene doznog opterećenja i minimizaciji doznog opterećenja, pokušati kvantificirati izloženost pacijenta i njegove mikrookoline. Svaka osoba tretirana radiofarmakom unijela je u tijelo radioaktivni izvor koji se uključuje u metaboličke procese ciljnog organa, ali i cijeloga tijela. Za sigurniju primjenu radioaktivnih izvora u medicinske svrhe razvijeni su i usvojeni tzv. MIRD (*Medical Internal Radiation Dosimetry*) formalizmi za izračunavanje apsorbirane doze zračenja u problemima interne dozimetrije. Pri tom moraju biti ispunjeni zahtjevi dobivanja željene dijagnostičke informacije uz svođenje na minimum toksičnih učinaka (poštuda zdravih, netretiranih organa), a potom i akutnih, ali i dugoročnih komplikacija [1-3]. Uz to, radiofarmaku izložena osoba predstavlja izvor zračenja za svoju mikrookolinu, bilo za medicinsko osoblje ili za svoje bližnje [4]. U Jedinici za zaštitu od zračenja i Jedinici za dozimetriju zračenja i radiobiologiju Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu godinama se provode istraživanja izloženosti stanovništva Hrvatske i posebno djelatnika profesionalno izloženih ionizirajućem zračenju. Posljednjih godina istraživanja su proširena i na proučavanja izloženosti pacijenata [5]. U radu prikazani rezultati dio su sustavnih ispitivanja medicinskih postupaka i njihovih utjecaja na izloženost ljudi u individualiziranom pristupu procjenjivanja doze. Provedeno je mjerenje brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta $H^*(10)$ uz pacijenta injektiranog ^{99m}Tc pertehnetatom za

potrebe scintigrafije štitnjače. Uzorkovani su uzorci urina u nizu, neposredno nakon dijagnostičkog postupka te u dva uzastopna dana i mjereni gamaspektrometrijski. Procijenjen je i diskutiran doprinos dijagnostičkog postupka izloženosti zračenju pojedinca u populaciji Hrvatske. U pokušaju kvantificiranja tih vrijednosti promatrana je izloženost pacijenta tijekom i nakon dijagnostičkog postupka uporabom ^{99m}Tc .

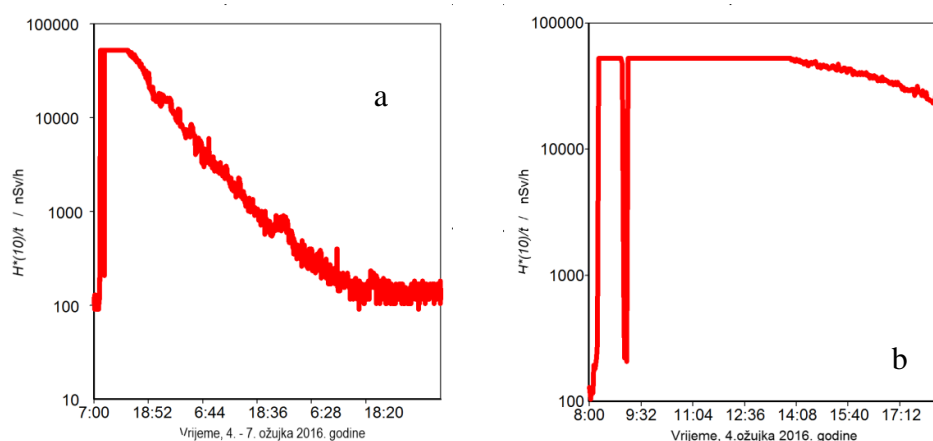
MATERIJAL I METODE

Dan prije ugovorene pretrage, pacijentici je priređen aktivni elektronički dozimetar (AED) *ALARA OD*. AED *ALARA OD* kontinuirano mjeri i bilježi vrijednosti $H^*(10)$ te brzine $H^*(10)$ u realnom vremenu što omogućuje naknadnu analizu dinamike izloženosti ionizirajućem zračenju. Dogovoreno je da pacijentica AED cijelo vrijeme ispitivanja nosi na vezici oko vrata, na udaljenosti otprilike pola metra od štitnjače. Pacijentica je vodila zapis o događanjima u tri dana trajanja mjerenja. Prvog dana u 8:15 primila je radiofarmak s ^{99m}Tc aktivnosti 4 mCi (148 MBq). Tijekom provedbe scintigrafije nije smjela nositi dozimetar oko vrata već je bio odložen uz gama kameru (otprilike deset minuta). Nakon pretrage sakupljani su urini, prvi uzorak oko 18:15 na dan pretrage, drugi sutradan ujutro oko 6:30 i treći idući dan oko 5:00. Uzorci su analizirani visokorezolucijskom gamaspektrometrijom. Korišten je HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co povezan s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Združenog istraživačkog centra Europske unije (JRC EU).

REZULTATI

Uneseni ^{99m}Tc se zbog svoje sličnosti s jodom koncentrira u štitnjači, a raspodjeljuje se i u žlijezdama slinovnicama, mozgu, krvožilnom sustavu, mokraćovodima i mokraćnom mjehuru te želucu. Najveću ekvivalentnu dozu primi želudac i nakon četiri sata primi približno 25 % unesene doze [6]. Specifična gama konstanta za ^{99m}Tc iznosi $3,3 \cdot 10^{-5}$ mSv/h/MBq na 1 m od izvora [6], pa shodno tome je za očekivati na metar udaljenosti brzinu $H^*(10)$ od otprilike 4,9 $\mu\text{Sv/h}$. AED *ALARA OD* pripremljen je za mjerenje većih vrijednosti brzina $H^*(10)$ od uobičajeno mjerenih od prirodnog

pozadinskog zračenja: interval mjerenja smanjen je na dvije minute, a utjecaj prirodnog pozadinskog zračenja spušten je na nekoliko impulsa u dvominutnom intervalu. Nažalost ni to nije bilo dovoljno za izmjeriti vršnu vrijednost brzine $H^*(10)$ i zabilježene vrijednosti su od 8:16 sati do 13:56 bile izvan dosega mjerenja instrumenta. Slika 1a prikazuje brzinu $H^*(10)$ zabilježenu od trenutka injektiranja ^{99m}Tc do vraćanja AED na očitavanje, a Slika 1b samo od 8:00 do 18:00 prvoga dana.

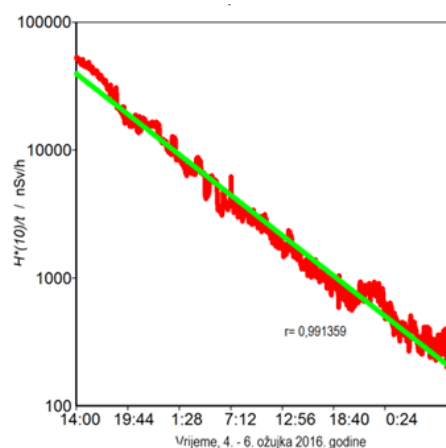


Slika 1. Brzina $H^*(10)$ zabilježena tijekom korištenja AED-a: a) od trenutka injektiranja do vraćanja AED na očitavanje; b) od 8:00 do 18:00 sati prvoga dana.

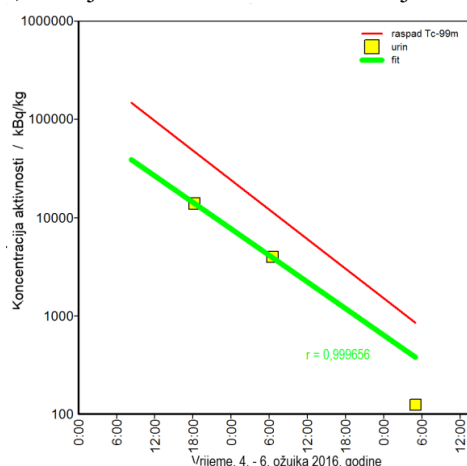
Na Slici 2 prikazana je brzina $H^*(10)$ zabilježena od 14:00 sati 4. ožujka do 6:00 sati 6. ožujka i na osnovu zabilježenih vrijednosti modelirana krivulja. Iz modelirane eksponencijalne krivulje (koeficijent korelacije, $r = 0,991$) iščitava se efektivno vrijeme potrebno da se početna aktivnost u neposrednoj blizini štitnjače smanji na pola vrijednosti. To vrijeme iznosi $5,23 \pm 0,02$ sata. Ekstrapolirana početna brzina $H^*(10)$, u 8:15 sati, iznosila bi $85 \mu\text{Sv/h}$. Integralna (kumulativna) doza od 8:00 sati 4. ožujka do 24:00 sata 6. ožujka iznosila je, uz u izračunu korištene ekstrapolirane vrijednosti za razdoblje od 8:16 do 13:56 sati, $668 \mu\text{Sv}$. Istovremeno, procijenjena kumulativna doza od isključivog izlaganja prirodnom pozadinskom zračenju za to razdoblje bila bi samo $7 \pm 1 \mu\text{Sv}$.

Provedena su gamaspektrometrijska mjerenja urina i provedena je vremenska korekcija na vrijeme uzorkovanja. Na Slici 3 prikazane su vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{99m}Tc u urinima. Na Slici 3 prikazana je

također i modelirana eksponencijalna krivulja za podatke koncentracija aktivnosti ^{99m}Tc u urinima, te krivulja radioaktivnog raspada 148 MBq ^{99m}Tc .



Slika 2. Brzina $H^*(10)$ zabilježena od 14:00 sati 4. ožujka do 6. ožujka u 6:00 sati



Slika 3. Koncentracije aktivnosti ^{99m}Tc u urinu nakon injektiranja 148 MBq ^{99m}Tc za potrebe scintigrafije štitnjače

Koncentracije aktivnosti ^{99m}Tc u urinu predstavljaju koncentraciju aktivnosti u tjelesnim tekućinama organizma, dakle u tijelu. Iz modelirane eksponencijalne krivulje na podatke koncentracije aktivnosti ^{99m}Tc u urinu (koeficijent korelacije $r = 0,9997$) moguće je izračunati vrijeme potrebno za izlučivanje pola unesene radioaktivnosti, tzv. efektivno vrijeme potrebno za izlučivanje polovine primljene radioaktivnosti, $T_{1/2ef} = 6,68 \pm 0,04$ sati.

ZAKLJUČAK

U odjelima nuklearne medicine u Republici Hrvatskoj godišnje se napravi gotovo 12000 dijagnostičkih pregleda štitnjače uporabom ^{99m}Tc što doprinosi kolektivnoj dozi populacije s vrijednošću od gotovo 25 manSv [7]. Istraživanje izloženosti pacijenata koji su tretirani radiofarmacima bilo u dijagnostičke bilo u terapijske svrhe, vrlo je složeno. Procjena individualne izloženosti zahtijeva strpljenje i suradnju pacijenta te komplicirane postupke i proračune vezane uz internu dozimetriju. Vrijednost $T_{1/2\text{ef}}$ dobivena izračunom nešto je viša od literaturnih [6,8] što se može pripisati malom broju uzoraka urina i metabolizmu pacijentice.

LITERATURA

- [1] Jahnke K. Dosimetry calculations of radiopharmaceuticals. Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One+Two. 2010;3(1):A7.
- [2] Brown PH, Krishnamurthy GT, Bobba VVR, Kingston E. Radiation dose calculation for Tc-99m HIDA in health and disease. J Nucl Med 1981;22:177-183.
- [3] Chahboub Y, Choukri A, Hakam OK, Talsmat K, Benouhoud M, Semghouli S. Assessment of absorbed dose by target organs using MIRD formalism during certain nuclear medicine procedures. E J Biomed Pharml Sci 2016;3(11):61-64.
- [4] Havlik E, Kurtaran A, Preifellner J. Radiation exposure around patients after administration of Tc-99m-DPD or Tl-210-chloride. In: Proceedings of IRPA International Congress, April 14-19, 1996; Beč, Austrija. IRPA; 1996; 3:550-553.
- [5] Kopjar N, Prlić I, Senčar J, Želježić D, Ramić S, Marović G. Izloženost zračenju kroz dijagnostičke postupke nuklearne medicine – prikaz slučaja. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I. (ur.) Zbornik radova IX. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja m; 10.-12. travnja 2013.; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ - CRPA; 2013. str. 235-240.
- [6] Tc-99m. <http://researchcompliance.uc.edu/Libraries/Isotopes/Tc-99m.sflb.ashx>
- [7] Kralik I, Štefanić M, Šarić G, Težak S, Grbac Ivanković S, Radić Wolf M, Posedel D, Jurković S, Brkić H, Faj D. The estimation of collective dose from medical exposures from diagnostic nuclear medicine examinations in Croatia. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I. (ur.) Zbornik radova IX. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10.-12. travnja 2013.; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ - CRPA; 2013. str.253-258.
- [8] Guo N, Yang K, Lin YS, Wang T. Influence of ^{99m}Tc -pertechnetate thyroid imaging on radioactive iodine uptake. PubMed. 2014 Jun; 36(3)267-70 doi:10.3881/J.issn.1000-503X2014.03.007

PATIENT EXPOSURE DURING AND AFTER THYROID SCINTIGRAPHY USING ^{99m}Tc

Marija Surić Mihić¹, Ozren Vugrinec², Iva Mrčela³, Gordana Marović¹ and Jasminka Senčar¹

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

²University Hospital Centre Zagreb, Croatia

³University Hospital Centre Sestre milosrdnice, Zagreb, Croatia

msuric@imi.hr

Use of radiopharmaceuticals in diagnostic and therapeutic procedures in medicine increases the effective collective dose of the population. Therefore it is needed to individualise dose assessment to estimate exposure of the patient and his surroundings. A measurement of patient exposure, during and after thyroid scintigraphy with ^{99m}Tc pertechnetate, using active electronic dosimeter *ALARA OD* was performed. Estimated effective dose during 3 day exposure to ^{99m}Tc was 668 μSv which is hundred times effective dose due to exposure to natural background radiation for the same period (7 μSv). Urine sample immediately after the scintigraphy and in 2 consecutive days after the administration were analysed using gamma spectrometry. $T_{1/2\text{eff}}$ was calculated to be 6.68 hours.

BIOLOŠKI UČINCI ZRAČENJA
BIOLOGICAL EFFECTS OF RADIATION

THE INFLUENCE OF TITANIUM DIOXIDE NANOMATERIALS ON HUMAN KERATINOCYTE HACAT CELLS AFTER UVB RADIATION WITH ONE MEDIAL ERYTHEMAL DOSE

*Mirta Milić¹, Ivan Pavičić², Ivana Vinković Vrček³, Atiđa Selmani⁴,
Darija Domazet Jurašin⁵, Tanja Matijević Glavan⁶ and Emilija Zapletal⁶*

¹Mutagenesis Unit, ²Radiation Dosimetry and Radiobiology Unit

³Analytical Toxicology and Mineral Metabolism Unit,

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

⁴Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zagreb

⁵Division of Physical Chemistry, ⁶Division of Molecular Medicine,

Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

mmilic@imi.hr <mailto:mmilic@imi.hr>

INTRODUCTION

Titanium dioxide nanomaterials (TiO₂NMs) are often a part of sunlight skin protection products and their concentration in the sunscreens is usually 1-150 µg/ml. Due to different forms, coatings, surface charge, size, concentrations, solubility and agglomeration/aggregation state, although allowed for using as food and pharmaceutical additive [1] and characterized as a biologically inert, the controversy on their use concerning safety issues still remains. There is also the lack of reliable data on their cell penetration and cytotoxicity effects including oxidative stress and DNA damage [2,3].

Shorter wavelength UVB (>300 nm) can penetrate superficial epidermis, mostly consisted from keratinocytes and the first response to erythema can be seen on this type of cells. Since they can cause also DNA damage, oxidative stress, chronic inflammation and elevated cancer risk, it is a matter of concern whether the combined effect of TiO₂NMs and UV can give a protective impact on the human skin or even increase the level of DNA damage and oxidative stress.

In this study we wanted to examine the impact of newly synthesized TiO₂NMs with different shape nanowires-NW2, nanotubes-NT2 and nanoplates-NP4 in the concentrations usually found in the sunscreens (10-100 µg/ml) on the level of cytotoxicity and DNA damage (measured the neutral red uptake and by alkaline comet assay) and produced immediately and 24 hour after the treatment of immortalized human keratinocytes

(HaCaT) cell line together with UVB medial erythral dose (2 kJ/m² [4], 312 nm) with plastic cover.

MATERIALS AND METHOD

The synthesis and detailed characterization of titanium NW2 and NT2 was previously reported [5]. NP4 were synthesized by the modified method [6] and visualized by field emission scanning electron microscope (FE-SEM, JEOL JSM-7000F). SEM micrograph is given on Figure 1. The size (hydrodynamic diameter, d_h) and zeta potential (ζ) of TiO₂NMs were measured by dynamic (DLS) and electrophoretic light scattering (ELS), using Zetasizer Nano ZS (Malvern, UK). The zeta potential (ζ) of particles was calculated from the measured electrophoretic mobility by means of the Henry equation using the Smoluchowski approximation ($f(Ka) = 1.5$). All results are reported as an average value of 6 measurements. All data processing was done by the Zetasizer software 6.32 (Malvern Instruments). Obtained results are presented in Table 1.

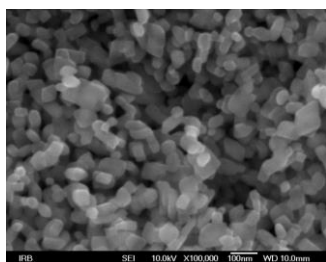


Figure 1. SEM micrograph of TiO₂ nanoplates (TNP).

Before choosing the concentrations for the study, we examined the cytotoxic effect of the nanoparticles with neutral red uptake assay on 96 well plate with 5 replicates for each type of particle and concentration. Cells were treated for 24 hours and then analysed with spectrometer. HaCaT cells were seeded in concentration of 10⁵/ml in DMEM medium with 4.5 g/l glucose, without additional antibiotics, with 10 % heat-inactivated foetal bovine serum and L-glutamine at 37°C in a 5 % CO₂ atmosphere. Before the treatment, cells were kept for 24 h in the DMEM medium without serum for cell cycle synchronization.

For DNA damage measurement, the procedure and comet analysis has been already described [7]. Since the sunscreens are usually put before the sun exposure, we have treated the cells with TiO₂NM three hours before the UVB exposure started. The source of UVB radiation was UV crosslinker (Uvitec Cambridge) CL 508 with 6 × 8 Watt tubes and controlled delivering of the UVB dose.

Statistical analysis was done with STATISTICA 13 (StatSoft Dell), Descriptive statistics, Breakdown One way Anova was performed with post hoc Scheffe modifications, and the results were logarithmized before analysis for better normalisation. Tail length (length of comet tail in micrometers) and tail intensity (% DNA in comet tail) parameters were measured and analyzed. The minimal significance level was $p < 0.05$.

Table 1. Hydrodynamic diameter (d_h) obtained from size distributions by volume and zeta potential (ζ) of TiO₂ NMs [nanowires (TNW), nanotubes (TNT) and nanoplates (TNP)] in MiliQ water at 25 °C.

TiO ₂ NMs	d_{h1} / nm	% mean volume	d_{h2} / nm	% mean volume	d_{h3} / nm	% mean volume	ζ / mV
TNW	341.0 ± 29.6	100 ± 0.0	-	-	-	-	-35.2 ± 1.3
TNT	85.7 ± 12.4	29.0 ± 3.4	211.0 ± 38.9	78.5 ± 19.1	5231 ± 163	10.5 ± 2.8	-39.6 ± 2.3
TNP	222.2 ± 31.5	31.7 ± 9.6	771.3 ± 175.0	66.1 ± 16.9	5053 ± 212	11.2 ± 4.0	-12.7 ± 3.3

RESULTS

Neutral red uptake assay did not demonstrate significant differences among treated and control samples, so we have performed the alkaline comet assay with the chosen concentrations (Figure 2).

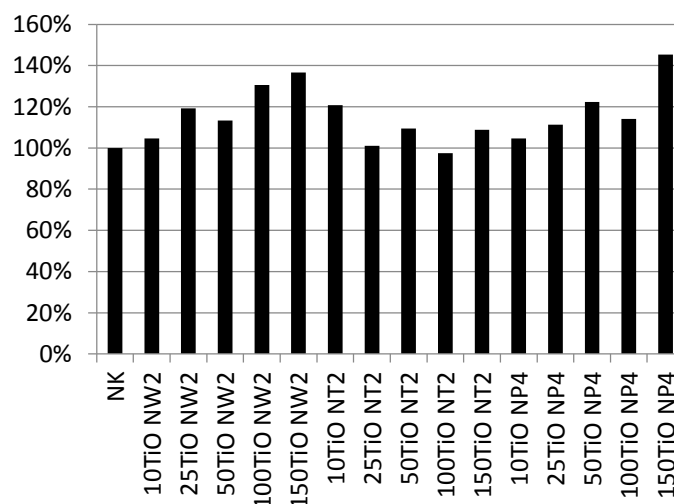


Figure 2. The results of neutral red uptake assay.

Results of the alkaline comet assay are demonstrated in Figure 3. Replicates demonstrated no significant statistical difference so for further analysis they were merged together, meaning we have analyzed 120 comets for each type of particle and concentration. The results for tail length and tail intensity were similar, and demonstrated different effect of different TiO₂NM and their concentrations. *DNA damage immediately after UV exposure.* For the NW2 50 and 100 µg/ml demonstrated similar effect seen in the control samples, whereas lower concentration demonstrated higher DNA damage than in the irradiated samples for immediate exposure after receiving medial erythral UVB dose. NT2 particles did not demonstrate protective influence in any concentration immediately after exposure. As for NP4, lower concentrations of 10 and 25 µg/ml demonstrated protective effect, while lower did not. *DNA damage 24h after UV exposure.* Only irradiated cell samples without particles demonstrated significantly higher level of DNA damage than DNA damage measured in the cells immediately after irradiation. None of the concentrations did not demonstrate significant difference from the samples irradiated with UVB medial erythral dose, although DNA damage was lower for NW2 10 and 25 µg/ml, NT2 10, 25 and 100 µg/ml and NP4 all concentrations. None of the above doses or type of particles did not demonstrated lower DNA damage effect immediately after exposure. Since the sunburn developing after receiving one medial erythral dose can be seen in 24 hours from the exposure, although no significant effect was seen, we have observed that differences in the DNA

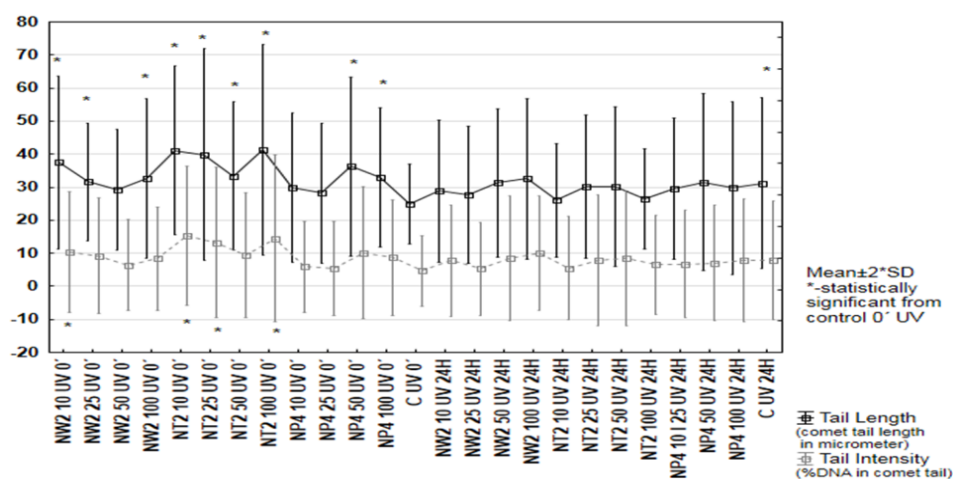


Figure 3. The results of the alkaline comet assay after the treatment.

damage development among different types of particles and concentrations. NP4 type in all concentration has given lower level of DNA damage than in the control, while the same effect was seen for the lower concentration of the other two type of particles.

CONCLUSION

Although some type of particles showed protective effect 24 hours after the exposure to UVB medial erythral dose, they did not demonstrate significantly protective effect. These results should be repeated on the cell line exposed to UVB without the plastic cover and further analysed for the amount of reactive oxidative species and cell peroxidation levels and their change over the time period.

REFERENCES

- [1] Rowe RC, Sheskey PJ, Weller PJ. Handbook of pharmaceutical excipients. Fourth ed. London: Pharmaceutical Press, London, United Kingdom, and the American Pharmaceutical Association; 2003.
- [2] Petković J, Žegura B, Stevanović M, Drnovšek N, Uskoković D, Novak S et al. DNA damage and alterations in expression of DNA damage responsive genes induced by TiO₂ nanoparticles in human hepatoma HepG2 cells. *Nanotoxicology* 2011;5:341-353.
- [3] Petković J, Kůzma T, Rade K, Novak S, Filipič M. Pre-irradiation of anatase TiO₂ particles with UV enhances their cytotoxic and genotoxic potential in human hepatoma HepG2 cells. *J Hazard Mater* 2011;196:145-152.
- [4] Huynh TT, Chan KS, Piva TJ. Effect of ultraviolet radiation on the expression of p38MAPK and furin in human keratinocyte-derived cell lines. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2009;25:20-29.
- [5] Selmani A, Špadina M, Plodinec M, Delač Marion I, Willinger MG, Lützenkirchen J, Gafney HD, Redel E. An experimental and theoretical approach to understanding the surface properties of one dimensional TiO₂ nanomaterials, *J Phys Chem C* 2015;119:19729-19742.
- [6] Han X, Kuang G, Jin M, Xie Z, Zheng L. Synthesis of titania nanosheets with a high percentage of exposed (001) facets and related photocatalytic properties. *J Am Chem Soc* 2009;131:3152–3153.
- [7] Milić M, Leitinger G, Pavičić I, Zebić Avdičević M, Dobrović S, Goessler W, Vinković Vrček I. Cellular uptake and toxicity effects of silver nanoparticles in mammalian kidney cells. *J Appl Toxicol* 2015;35:581-592.

THE INFLUENCE OF TITANIUM DIOXIDE NANOMATERIALS ON HUMAN KERATINOCYTE HACAT CELLS AFTER UVB RADIATION WITH ONE MEDIAL ERYTHEMAL DOSE

*Mirta Milić¹, Ivan Pavičić², Ivana Vinković Vrček³, Atiđa Selmani⁴,
Darija Domazet Jurašin⁵, Tanja Matijević Glavan⁶ and Emilija Zapletal⁶*

¹Mutagenesis Unit, ²Radiation Dosimetry and Radiobiology Unit

³Analytical Toxicology and Mineral Metabolism Unit,

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

⁴Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zagreb

⁵Division of Physical Chemistry, ⁶Division of Molecular Medicine,

Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

mmilic@imi.hr

Titanium dioxide nanomaterials (TiO₂NMs) are often a part of sunlight skin protection products within the concentration of 1-150 µg/ml. The controversy on their use concerning safety issues still remains, with the lack of reliable data on their cell penetration, cytotoxicity, oxidative stress and DNA damage especially in combination with UV radiation mostly in the range of UVB that can cause erythema in the superficial epidermis, mostly consisted from keratinocytes. We studied the impact of newly synthesized TiO₂NMs in the shape of nanowires, nanotubes and nanoplates in concentration 10-100 µg/ml on the level of DNA damage (alkaline comet assay) immediately and 24 hour after the treatment of immortalized human keratinocytes (HaCaT) cell line together with UVB medial erythematous dose (2 kJ/m², 312 nm) with plastic cover. Although some type of particles showed protective effect after 24 hours, but not immediately, they did not demonstrate significantly protective effect. Further studies should be done without the plastic cover and on the level of lipid peroxidation and cellular reactive oxidative species level to further clarify the impact of TiO₂NMs together with the effect of cellular uptake and subcellular localization.

THE IMPACT OF SUN RADIATION ON THE PARAMETERS OF COMET ASSAY

*Marko Gerić^{1,#}, Goran Gajski^{1,#}, Višnja Oreščanin² and
Vera Garaj-Vrhovac¹*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²ORESCANIN Ltd., Zagreb, Croatia

[#]equal contribution

vgaraj@imi.hr

INTRODUCTION

Comet assay is one of the most commonly used tools for detection of DNA damage in different cells. It has a wide application in genotoxicity studies done *in vitro*, and *in vivo*, but it is also used for biomonitoring of human populations. So far, several confounding factors (including age, gender, smoking status, radiation exposure, etc.) were studied due to their possible impact on the results of comet assay [1,2].

Sun radiation is another potential confounder that needs appropriate examination [3]. In the northern temperate zone there are four seasons per year. The spring and the summer could be considered as a hot period due to longer duration of the sun and higher temperatures, compared to the autumn and the winter (cold period). During the hot period, due to longer duration of the sun and the arrival of sun rays at steeper angle, higher sun radiation can be expected [4].

When describing sun radiation, usually ultraviolet (UV) radiation is considered. The UVC (100 – 290 nm) spectrum is absorbed by the ozone layer and atmosphere, whereas UVB (290 – 320 nm) and UVA (320 – 400 nm) spectra reach the Earth's surface. UVB radiation can cause direct DNA damage mostly through thymine dimerization, while UVA spectrum is considered to produce reactive oxygen radicals that can damage biomolecules [5].

The aim of this study was to address possible differences in comet assay parameters in general population when the blood was sampled during cold and hot period of the year. To achieve the aim, groups were matched in age, gender, active smokers, residence and body mass index in order to minimize the influence of confounders.

SUBJECTS AND METHODS

Volunteers involved in this study were recruited during period 2008-2016 from general population of Zagreb, Croatia. The volunteers were previously not exposed to radiation or under some medication for at least 3 months. The characteristics of study group (N = 50) are summarized in Table 1. Before taking part in the study, participants signed a written informed consent that was approved by Ethics Committee.

The data of sun radiation was provided by Croatian Meteorological and Hydrological Service.

Cytotoxicity was determined by differential staining with acridine-orange and ethidium-bromide staining and by fluorescence microscopy [6]. Based on a 400 cells examined, cells were categorized as: live (green staining) or dead (red staining) of the nucleus.

Table 1. Characteristics of studied population (age, gender, smokers and body mass index) donating blood in hot and cold period of the year.

<i>year period</i>	<i>age (years)</i>	<i>gender (M:F)</i>	<i>active smokers (%)</i>	<i>body mass index (kgm⁻²)</i>
Mar – Aug (hot period)	35.6 ± 11.1	8:17	32	23.5 ± 3.6
Sep – Feb (cold period)	35.6 ± 10.6	8:17	32	24.6 ± 4.5

The alkaline comet assay was performed according to Singh et al. [7] with minor modifications, during which 3 layer-agarose-samples were placed in freshly prepared lysis solution and left overnight. The slides were kept in denaturation for 20 min in electrophoresis buffer followed by another 20 min of electrophoresis at 25 V (300 mA). The slides were then washed with Tris HCl, stained with 10 µg/mL ethidium bromide and stored at 4 °C prior to analysis. A total of 100 randomly captured nuclei per slide were analyzed in duplicate using the Comet Assay II (Perceptive Instruments Ltd., UK) image analysis software. For data presentation we chose tail length (TL), corresponding the distance between center of nuclei and the most distant fragment of DNA and tail intensity (TI), corresponding the percentage of DNA that migrated from the nuclei.

Statistical analysis was done using the STATISTICA 13 software package. Mann Whitney U-test was performed to compare independent groups and significance set at $p < 0.05$.

RESULTS

Average sun radiation measured a day or 7 days before blood sampling was significantly higher in hot period (March – August) compared to cold period (September – February) (Figure 1). Average global sun radiation 1 day before blood sampling in the cold period was 46.58 ± 35.39 J/m² compared to 109.92 ± 46.07 J/m² in the hot period. Similarly, average global sun radiation 7 days before blood sampling in cold period was 63.02 ± 26.84 J/m² compared to 101.76 ± 31.31 J/m² in hot period.

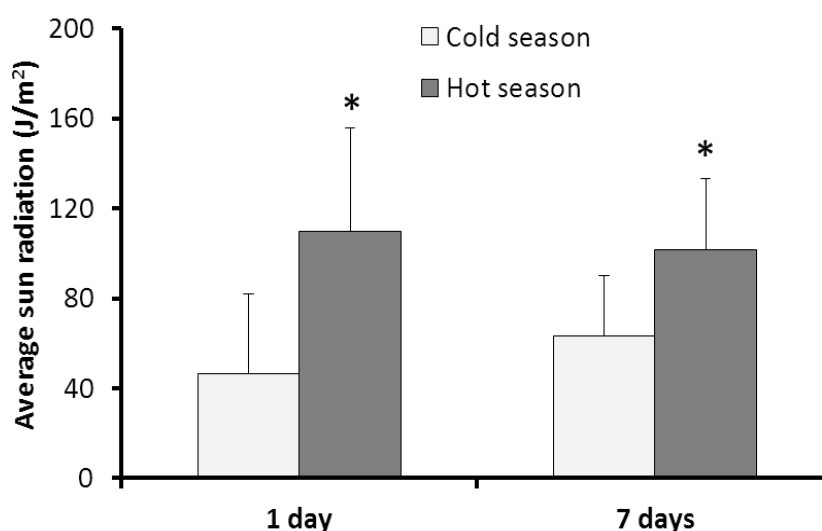


Figure 1. Average sun radiation 1 and 7 days before blood sampling and comet assay performance. *statistically significant difference ($p < 0.05$).

Cell viability testing showed that peripheral blood lymphocytes from all samples had more than 90 % viable cells, suggesting that possible observed effects of DNA damage did not appear as the result of cytotoxicity.

The mean values of comet assay parameters TL and TI were significantly higher in volunteers donating blood in the hot period compared to those from the cold period (Figure 2). The mean TL value for volunteers from the cold period was 13.80 ± 1.61 μ m compared to 14.91 ± 1.65 μ m from the hot period. As for the TI values, the volunteers from the cold period had 1.26 ± 0.54 % DNA in comet tails compared to 1.67 ± 0.65 % in volunteers from the hot period.

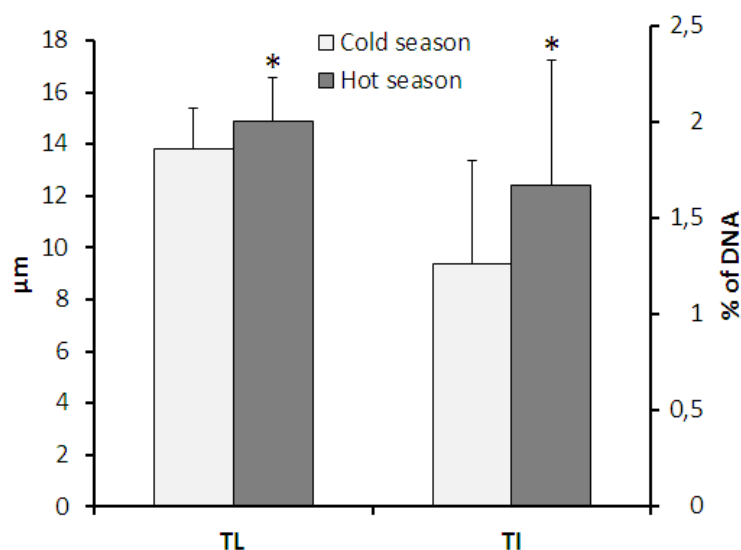


Figure 2. Mean value of tail length (TL) and tail intensity (TI) of peripheral blood lymphocytes from volunteers donating blood during cold and hot period of the year. *statistically significant difference ($p < 0.05$).

CONCLUSION

Presented results indicate that volunteers sampled in hot period of the year tend to have higher background levels of DNA damage. Similar results were observed in some studies suggesting that more sun radiation, more time spent outdoors, and more skin surface area is exposed during spring and summer compared to the rest of the year [4,8,9]. The association of average global sun radiation and DNA damage was also observed in this study. Still there are studies suggesting that during cold period more air pollutants could be found thus inducing DNA damage [10].

Taken together, further studies are warrant to assess the impact of sun radiation and comet assay parameters that would comprise of more volunteers and possible confounders.

Acknowledgments

We wish to thank all the volunteers that participated in this study and the Croatian Meteorological and Hydrological Service for providing meteorological data. This work was supported by the Croatian Ministry of Science, Education and Sports (Grant No. 022-0222148-2125) and the Institute for Medical Research and Occupational Health.

REFERENCES

- [1] Collins A, Koppen G, Valdiglesias V, Dusinska M, Kruszewski M, Møller P, Rojas E, Dhawan A, Benzie I, Coskun E, Moretti M, Speit G, Bonassi S; ComNet project. The comet assay as a tool for human biomonitoring studies: the ComNet project. *Mutat Res Rev Mutat Res* 2014;759:27-39.
- [2] Tice RR, Agurell E, Anderson D, Burlinson B, Hartmann A, Kobayashi H, Miyamae Y, Rojas E, Ryu JC, Sasaki YF. Single cell gel/comet assay: guidelines for *in vitro* and *in vivo* genetic toxicology testing. *Environ Mol Mutagen* 2000;35:206-221.
- [3] Verschaeve L, Koppen G, Gorp UV, Schoeters G, Jacobs G, Zwijsen C. Seasonal variations in spontaneous levels of DNA damage; implication in the risk assessment of environmental chemicals. *J Appl Toxicol* 2007;27:612-620.
- [4] Meteorological and Hydrological Service. Reviews N°27: Climate monitoring and assessment for 2015. 2016:1-45.
- [5] Cadet J, Grand A, Douki T. Solar UV radiation-induced DNA Bipyrimidine photoproducts: formation and mechanistic insights. *Top Curr Chem* 2015;356:249-275.
- [6] Duke RC, Cohen JJ. Morphological and biochemical assays of apoptosis. In: Coligan, J.E., Kruisbeal, A.M. (Eds.), *Current Protocols in Immunology*. 1992. John Willey & Sons, New York, pp. 1–3.
- [7] Singh NP, McCoy M, Tice R, Schneider E. A simple technique for quantification of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988;175:184-191.
- [8] Giovannelli L, Pitozzi V, Moretti S, Boddi V, Dolara P. Seasonal variations of DNA damage in human lymphocytes: Correlation with different environmental variables. *Mutat Res Fundam Mol Mech Mutagen* 2006;593:143-152.
- [9] Møller P, Knudsen LE, Frentz G, Dybdahl M, Wallin H, Nexø BA. Seasonal variation of DNA damage and repair in patients with non-melanoma skin cancer and referents with and without psoriasis. *Mutat Res* 1998;407:25-34.
- [10] Šrám R, Benes I, Binkova B, Dejmek J, Horstam D, Kotesovec F, Otto D, Perreault S, Rubes J, Selevan S, Skalik I, Stevens R, Lewtas J. Teplíce program - the impact of air pollution on human health. *Environ Health Perspect* 1996;104:699-714.

THE IMPACT OF SUN RADIATION ON THE PARAMETERS OF COMET ASSAY

*Marko Gerić^{1,#}, Goran Gajski^{1,#}, Višnja Oreščanin² and
Vera Garaj-Vrhovac¹*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²ORESCANIN Ltd., Zagreb, Croatia

[#]equal contributions

vgaraj@imi.hr

Since there are several confounding factors that are associated with comet assay parameters, we have decided to assess the impact of global sun radiation on comet assay tail length (TL) and tail intensity (TI). A total of 50 volunteers were retrospectively studied, based on date when blood donation was made. The study group was divided into the hot period (March – August) and the cold period (September – February). The groups were matched in age, gender, smoking status, and body mass index in order to minimize the impact of other possible confounders.

Average global sun radiation 1 and 7 days before blood sampling in the cold period was $46.58 \pm 35.39 \text{ J/m}^2$ and $63.02 \pm 26.84 \text{ J/m}^2$, respectively, compared to $109.92 \pm 46.07 \text{ J/m}^2$ and $101.76 \pm 31.31 \text{ J/m}^2$, respectively, in the hot period. Accordingly, the TL and TI in the cold period were lower ($13.80 \pm 1.61 \text{ }\mu\text{m}$ and $1.26 \pm 0.54 \%$, respectively) compared to the hot period ($14.91 \pm 1.65 \text{ }\mu\text{m}$ and $1.67 \pm 0.65 \%$, respectively).

Taken together, we have observed that the baseline levels of DNA damage were higher in volunteers donating blood in hot period compared to those who donated blood in cold period. Further studies are needed in order to examine the impact of sun radiation on comet assay parameters.

SENSITIVITY AND DNA REPAIR CAPACITY IN ANESTHESIOLOGISTS BY THE ALKALINE COMET ASSAY, *IN VITRO* CHALLENGING ASSAY AND DNA REPAIR GENOTYPING

Vilena Kašuba, Mirta Milić and Ružica Rozgaj

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

vkasuba@imi.hr

INTRODUCTION

Long lasting occupational exposure to volatile anesthetics can cause adverse effects. Different cytogenetic tests have shown elevated levels of DNA damage in operating room personnel measured as the occurrence of single strand DNA breaks [1], DNA damage in peripheral lymphocytes (measured by the comet assay) [2,3], or the frequency of sisters' chromatid exchange [4], chromosomal aberrations [4,5] and micronuclei [2].

Although there are different methods to evaluate the rate of DNA damage in personnel exposed to anesthetic gases [4], one of the mostly used sensitive method is the alkaline comet assay. This assay has also its added value in *in vitro* X ray challenge assay for repair studies assessment after the exposure of mammalian cells to ionizing radiation.

Repair of DNA damage is not equal in all the individual persons, because of inherited variations in genes involved in regulation of repair. Due to this fact, some individuals have different gene expression of certain genes and therefore exhibit an increased sensitivity when compared to general population to certain genotoxic agent and as a result have different DNA repair capacity. The repair capacity is a result of alterations in gene expression or could be a result of gene polymorphisms involved in different repair pathways. DNA damage can be repaired mostly by the base excision repair system (BER), which includes also a gene hOGG1 (human 8-oxoguanine DNA glycosylase 1). In the homologous DNA double strand break repair pathway (HR-DSBR), one of the main genes involved is XRCC3 (*X-ray repair cross-complementing protein-group*).

In this study we used two genes involved in different DNA repair pathways.

The aim of the study was: (1) to study the initial DNA damage induced by 2 Gy and 4 Gy of ⁶⁰Co gamma radiation, and the DNA temporal

repair patterns in *ex vivo* irradiated human peripheral blood lymphocytes of healthy subjects and of medical workers exposed to anesthetics; (2) to investigate the relationship between repair capability (or potency or capacity) of persons occupationally exposed to anaesthetic gases and polymorphisms in DNA repair genes involved in BER and HR-DSBR (hOGG1 and XRCC3); (3) to check whether the use of DNA damage/repair biomarkers is applicable to improve risk assessment for primary cancer prevention in workers exposed to volatile anaesthetics; (4) to explore the role of smoking status, age and gender on our results and the results of genotyping.

MATERIAL AND METHODS

Study population

The study involved 30 control subjects (16 female, 14 male) and 30 occupationally exposed subjects to anesthetics (24 female, 6 male) within an age range of 19 - 58 years and 23 - 59 years (mean: controls: 39.5 ± 11.2 years, exposed: 41.2 ± 9.4 years). All exposed individuals participated in application of volatile anesthetics during surgical interventions in total anesthesia in operating room. Exposed group consisted predominantly of female workers.

The alkaline comet assay was performed according to a standard protocol described by Singh et al. [6]. The parameter measured was percentage of DNA in comet tail of nucleus Tail DNA. *In vitro* challenge assay developed by Alapetite et al. and Touil et al. [7,8] was modified to make the assay faster.

The percentage of damage remaining after 15, 30, 60, 120 minutes and 24 hours repair time (residual DNA damage [RD]) was calculated as follows [9]:

$$RD = [(TD_{t \text{ 15min, ... 24 h}} - TD_{\text{control}}) / (TD_{0 \text{ min}} - TD_{\text{control}})] \times 100$$

where $TD_{t \text{ 15min, ... 24 h}}$ = Tail DNA 15, 30, 60, 120 minutes or 24 hours after irradiation ; TD_{control} = Tail DNA of control sample (non-irradiated sample); $TD_{0 \text{ min}}$ = Tail DNA immediately after irradiation.

The polymorphism of hOGG1 (*human 8-oxoguanine glycosylase, Ser326Cys*) gene involved in base excision repair (BER) was determined by RFLP (restriction fragment length polymorphism) analysis, in which the 234 bp DNA sample was broken into pieces and (digested) by restriction enzyme Fnu4HI/Sat I and the resulting restriction fragments of 20, 49, 165 and 214 bp were separated according to their lengths by gel electrophoresis

(homozygous wild type had fragments of 214 and 20 bp, heterozygous of 20, 49, 165 and 214 bp, and homozygous polymorphic had 20, 49 and 165 bp fragments). In addition hOGG1 was analyzed by Real Time TaqMan assay C_3095552_1.

The polymorphism of *XRCC3* (*X-ray repair cross-complementing protein-group, Thr241Met*), involved in double strand-break repair (DSBR) was determined by RFLP analysis where *Hin1 II*/*Nia III*/ *Hsp92II* enzyme was used [10].

RESULTS

No statistically significant differences were observed in the mean levels of Tail DNA between control and exposed population whose samples were irradiated with the same dose. The DNA damage observed after exposure to 4 Gy was higher than the damage observed after 2 Gy.

Even before radiation, there was a positive correlation of the amount of DNA damage found in non-irradiated lymphocytes of the exposed group with the employment years of the exposed personnel. Such a finding demonstrates that long term exposure is in correlation with the amount of DNA damage found in lymphocytes.

Considering residual DNA damage as a biomarker of unrepaired amount of DNA, control group demonstrated higher percentage of unrepaired DNA when compared to exposed one (43 % vs. 41 %) only 15 minutes after exposure to 2 Gy. After 15 minutes, the amount of unrepaired DNA damage remained higher in the exposed group (29.5 % vs. 27 % after 30 minutes; 33 % vs. 17 % after 60 minutes; 29 % vs. 19 % after 120 minutes). The picture was more uniform after exposure to 4 Gy, where controls showed higher values for residual DNA damage in all observed time points (49 % vs. 39.5 % after 15 minutes; 29 % vs. 25 % after 30 minutes; 18 % vs. 11 % after 60 minutes; 10 % vs. 5 % after 120 minutes and 4.5 % vs. -1 % after 24 hour). Due to a long incubation period, higher percentage of apoptotic cells was seen on slides which repair lasted for 24 hours. Considering folic acid concentration, there was a significantly higher level in control group compared to exposed one (9.59 vs. 6.47, $p = 0.017$). Even a greater difference between the folic acid levels in exposed and control females (6.82 vs. 11.48, $p = 0.007$) was found. Although there was a big discrepancy between the folic acid levels, no correlation with DNA damage or residual DNA repair was found for this parameter, neither in control, nor in the exposed group. Despite of the higher number of nonsmokers (20 vs. 10), there was no effect of smoking in the control group.

The only difference for smokers was found between control (10 persons) and the exposed group (14 persons) for the level of residual DNA damage 30 minutes after the exposure to 4 Gy (33 % vs. 25.81 %, $p = 0.020$).

hOGG1 - Different effect was observed for 4 Gy dose, where polymorphic groups were repairing DNA damage slower than homozygous groups. It was also found that homozygous exposed one was the fastest one in repairing DNA damage, followed by homozygous control group. The control group 15 minutes after exposure to 4Gy had the highest percentage of unrepaired DNA (50 %), with significant statistical difference from the homozygous exposed group (15 minutes after, $p = 0.046$, and 24 hours after, $p = 0.002$).

Residual DNA damage demonstrated totally different results, with lower level of unrepaired DNA damage after 2 Gy in polymorphic groups (control and exposed) in homozygous group. Although the time period for repairing the damage was different, homozygous wild type exposed group showed constant levels of residual DNA damage.

XRCC3 - After exposure to 2 Gy, the only significant difference was between homozygous wild type in controls and exposed group after 30 minutes ($p = 0.042$) and 120 minutes ($p = 0.001$) from the exposure, with higher percentage of DNA in tail in controls. After exposure to 4 Gy, again those two groups showed significant difference 15 minutes ($p = 0.004$) and 120 minutes (0.045) after receiving the dose.

Residual DNA damage after exposure to 2 Gy was more or less equal for all groups, except for homozygous exposed group that after initial lowering of DNA damage remained higher level of unrepaired DNA (80 % after 60 minutes, 70 % after 120 minutes). After 4 Gy, polymorphic groups had higher levels of unrepaired DNA. Statistical difference was found only after 24 hours, where controls had higher values ($p = 0.005$). The homozygous groups showed lower percentage of residual DNA damage when compared to polymorphic groups. The exposed homozygous group had the lowest percentage of residual DNA damage, showing significant difference from the control group 30 minutes after ($p = 0.045$), 60 minutes after ($p = 0.030$) and 120 minutes after ($p = 0.003$).

CONCLUSION

Present data suggest that genetic polymorphisms in the studied DNA repair enzymes may influence the individual susceptibility to DNA damage related to chronic handling of anesthetic gases.

REFERENCES

- [1] Reitz M, Coen R, Lanz E. DNA single-strand breaks in peripheral lymphocytes of clinical personnel with occupational exposure to volatile inhalation anaesthetics. *Environ Res* 1994;65:12-21.
- [2] Rozgaj R, Kašuba V, Brozović G, Jazbec A. Genotoxic effects of anaesthetics in operating theatre personnel evaluated by the comet assay and micronucleus test. *Int J Hyg Environ Health* 2009;212:11-17.
- [3] Karpinski TM, Kostrzewska-Poczekaj M, Stachecki I, Mikstacki A, Szyfter K. Genotoxicity of the volatile anaesthetic desflurane in human lymphocytes invitro, established by comet assay. *J Appl Genet* 2005;46:319-324.
- [4] Bilban M, Jakopin CB, Ogrinc D. Cytogenetic tests performed on operating room personnel (the use of anaesthetic gases). *Int Arch Occup Environ Health* 2005;78:60-64.
- [5] Rozgaj R, Kašuba V, Jazbec A. Preliminary study of cytogenetic damage in personnel exposed to anaesthetic gases. *Mutagenesis* 2001;16:139-143.
- [6] Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988;175:184-191.
- [7] Alapetite C, Thirion P, De La Rochefordiere A, Cosset JM, Moustacchi E. Analysis by alkaline comet assay of cancer patients with severe reactions to radiotherapy: defective rejoining of radioinduced DNA strand breaks in lymphocytes of breast cancer patients. *Int J Cancer* 1999;83:83-90.
- [8] Touil N, Aka PV, Buchet JP, Thierens H, Kirsch-Volders M. Assessment of genotoxic effects related to chronic low level exposure to ionizing radiation using biomarkers for DNA damage and repair. *Mutagenesis* 2002;17:223-232.
- [9] Cornetta T, Festa F, Testa A, Cozzi R. DNA damage repair and genetic polymorphisms: assessment of individual sensitivity and repair capacity. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2006;66:537-545.
- [10] Angelini S, Kumar R, Carbone F, Maffei F, Cantelli Forti G, Violante FS, Lodi V, Curti S, Hemminki K, Hrela P. Micronucleus in humans induced by exposure to low level of ionizing radiation: influence of polymorphisms in DNA repair genes. *Mutat Res* 2005;570:105-117.

ASSESSMENT OF INDIVIDUAL SENSITIVITY AND DNA REPAIR CAPACITY IN ANESTHESIOLOGISTS BY ALKALINE COMET ASSAY, *IN VITRO* CHALLENGING ASSAY AND DNA REPAIR GENOTYPING

Vilena Kašuba, Mirta Milić and Ružica Rozgaj

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

vkasuba@imi.hr

The aim of the study was to investigate the initial DNA damage induced after 2 Gy and 4 Gy of ^{60}Co *ex vivo* gamma radiation, the influence of repair capability according also to the polymorphisms in DNA base excision repair hOGG1 and double strand-break repair XRCC3, and to check whether folic acid level in urine, or smoking can influence on the level of DNA damage and repair in human peripheral blood lymphocytes of 30 healthy subjects (16 F, 14 M) and 30 medical workers exposed to anaesthetics (24 F, 6 M). There was no significant difference in the mean levels of tail DNA between control and exposed samples irradiated with the same dose. Long term exposure showed correlation with the amount of DNA damage, but did not change DNA damage response immediately after irradiation. The effect of smoking was not observed in the control group. The only difference was seen for the level of residual DNA damage after 30 minutes from exposure to 4 Gy. hOGG1 polymorphic groups (control and exposed) had lower level of residual DNA damage after 2 Gy, with constant levels of residual DNA damage in homozygous wild type exposed group, although the time period for repairing the damage was different. As for 4 Gy, polymorphic groups repaired DNA damage slower than homozygous. Homozygous were repairing faster DNA, the fastest were exposed homozygous and then control ones. XRCC3 control homozygous wild type had significantly higher percentage of tail DNA from exposed ones 30 and 120 minutes after 2 Gy, while similar was found for 15 and 120 minutes after received 4 Gy dose. Two Gy residual DNA damage was equal for all groups, except for exposed homozygous that after initial lower DNA damage remained with higher level of unrepaired DNA damage (80 % after 60 minutes, 70 % after 120 minutes). After 4 Gy, polymorphic groups had higher levels of unrepaired DNA.

PRIMJENA MIKRONUKLEUS TESTA NA ERITROCITIMA MIŠA U PROCJENI RADIOPROTEKTIVNIH UČINAKA PROPOLISA I NJEGOVIH POLIFENOLNIH SASTAVNICA

Vesna Benković¹, Anica Horvat Knežević¹, Tihana Cikač¹, Mirta Milić² i Nevenka Kopjar²

¹Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

vesna@biol.pmf.hr

UVOD

Hematopoietski organi su visokoproliferativna tkiva vrlo osjetljiva na djelovanje zračenja. Najosjetljivije stanice hematopoietskog sustava su matične stanice koje se tijekom procesa hematopoieze intenzivno dijele [1,2]. Zračenje utječe na gotovo sve subpopulacije staničnih linija, uključujući i rane blaste u koštanoj moždini te može uzrokovati oštećenja kromosoma i nastanak mikronukleusa. U procesu sazrijevanja eritroblasti se razvijaju u retikulocite (mladi eritrociti koji još sadrže RNA, a jezgra im je izbačena iz stanice) u kojima se mogu vidjeti mikronukleusi. U miševa veliki broj retikulocita ulazi u cirkulaciju te se njihova prisutnost može utvrditi primjenom različitih boja koje se specifično vežu na DNA [3]. Propolis je pčelinji proizvod, ljepljiva smolasta tvar žuto-zelene do tamno smeđe boje koju pčele prerađuju pomoću izlučevina svojih žlijezda. On je smjesa različitih organskih i anorganskih tvari, gdje flavonoidi čine udio preko 45 % [4]. Utvrđeno je da propolis i njegove sastavnice posjeduju široki spektar aktivnosti: protubakterijsko, protugljivično i protuvirusno djelovanje [5], kemopreventivno i protutumorsko [6] te naročito antioksidacijsko djelovanje [6,7]. Stoga je cilj ovog istraživanja utvrditi moguće učinke propolisa ili samih sastavnica flavonoida u zaštiti od djelovanja ionizirajućeg zračenja uporabom *in vivo* mikronukleus testa na retikulocitima miševa soja Swiss albino.

MATERIJALI I METODE

U pokusima smo rabili miševe soja Swiss albino starosti 3-4 mjeseca, mase 20-30 grama raspodijeljene u skupine od po pet životinja, uzgojene u Zavodu za animalnu fiziologiju PMF-a. Miševe smo držali u kavezima i hranili standardnom laboratorijskom hranom (Standard Diet GLP, 4 RF 1,

Mucedola, Settimo Milanese MI, Italy) koja je, kao i voda, bila stalno dostupna. Istraživanje je provedeno u skladu sa Zakonom o zaštiti životinja (NN 135/2006.) i prema Pravilniku o zaštiti životinja koje se koriste u znanstvene svrhe (NN 55/13).

Za pripremu vodene otopine propolisa (VOP) koristili smo hrvatski propolis. Liofilizat je priređen po protokolu koji su predložili Nagai i sur. [8]. Iz liofilizata otapanjem u redestiliranoj vodi pripremili smo dozu od 100 mg/kg. Za pripremu alkoholne otopine (AOP) propolis smo otopali u 80 % etanolu tijekom 24 sata na 37 °C i nakon toga liofilizirali. Iz dobivenog liofilizata otapanjem u maloj količini etanola (< 1 % v/v) i redestiliranoj vodi, pripremili smo dozu od 100 mg/kg. Koristili smo kvercetin (Kvercetin dihidrat; $C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$; Mt: 338,26; Aldrich Chemical Company. Inc. GmbH, Švicarska). Vodenu otopinu kvercetina pripremili smo otapanjem kvercetina u maloj količini etanola (< 1 % v/v) i redestiliranoj vodi, a koristili smo dozu od 100 mg/kg. Kafeinsku kiselinu (3,4 dihidroksicinamična kiselina; CA; $C_9H_8O_4$; Mt: 180,2); Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Njemačka), krizin (5,7-dihidroksiflavan; $C_{15}H_{10}O_4$; Mt: 254,24; Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Njemačka) i naringin (4,5,7-trihidroksiflavanon 7-ramnoglukozid; $C_{27}H_{32}O_{14}$; Mt: 580,5; Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Njemačka) pripremili smo otapanjem u redestiliranoj vodi, a koristili smo dozu od 100 mg/kg. Kao pozitivnu kontrolu koristili smo kemijski radioprotektor AET (2-aminoetilizotioureja dihidrobromid; $C_3H_9N_3S \times 2 HBr$; Mt: 281,0) proizvođača Sigma Chemical Co., SAD; u koncentraciji 1 mM/kg.

Životinje smo tretirali propolisom i flavonoidima tijekom tri dana te zatim ozračili dozom od 4 Gy. 48 sati nakon zračenja uzimali smo uzorke periferne krvi. Kontrolne skupine tretirane su otapalima korištenim za pripremu korištenih koncentracija testiranih tvari.

Za ozračivanje smo koristili uređaj poznat kao "kobalt bomba" smješten u Institutu Ruđer Bošković, Zagreb. Kao izvor zračenja služi izotop kobalta ^{60}Co . Životinje smo jednokratno ozračili dozom od 4 Gy, gdje je udaljenost od izvora zračenja bila 291 cm, a ukupno vrijeme ozračivanja 173 sekunde. Brzina doze iznosila je 0,0233 Gy/s.

Mikronukleus (MN) test *in vivo* primijenili smo 48 sati nakon obrade prema modificiranom protokolu [9]. Ukratko, miševima smo uzeli uzorak krvi iz repne vene i priredili razmaze na predmetnim stakalcima. Mikroskopsku analizu preparata obojanih fluorescencijskom bojom akridin oranž izvršili smo na fluorescencijskom mikroskopu s ekscitacijskim filterom 502-525 nm. U

svakom pojedinačnom uzorku analizirali smo 2000 retikulocita u kojima smo utvrdili ukupni broj i raspodjelu MN.

REZULTATI

Broj mikronukleusa u testiranim skupinama prikazan je u Tablici 1. Obzirom da se utvrđeni broj mikronukleusa u kontrolnoj skupini sa i bez otapala nije statistički značajno razlikovao, kontrolne su vrijednosti izražene kao jedinstvena kontrolna vrijednost. Uočili smo statistički značajno ($p < 0,05$; χ^2 test) smanjenje broja mikronukleusa u tretmanu VOP-om, AOP-om i kvercetinom te statistički značajno (χ^2 test) povećanje broja mikronukleusa u tretmanu krizinom i naringinom u odnosu na kontrolu. Statistički značajne razlike između pojedinih skupina prikazane su u Tablici 2.

U miševa koji nisu bili ozračeni a tretirali smo ih propolisom i flavonoidima nismo utvrdili statistički značajno ($p < 0,05$; χ^2 test) različiti broj mikronukleusa u odnosu na kontrolu (Tablica 3).

Vodena i alkoholna otopina propolisa, te kvercetin i kafeinska kiselina, primijenjeni u dozama od 100 mg/kg *i.p.*, pokazali su smanjeni broj mikronukleusa u retikulocitima što ukazuje da isti učinkovito hvataju slobodne radikale te potiču proizvodnju antioksidativnih enzima potrebnih za zaštitu stanica, te umanjuju štetne posljedice zračenja. S druge strane krizin i naringin uzrokovali su povećanje broja mikronukleusa, što možemo pripisati prooksidativnom djelovanju koje je ovisno o primijenjenim dozama.

Tablica 1. Broj retikulocita s mikronukleusima (MN) u perifernoj krvi miševa, obrađenih propolisom i flavonoidima (100 mg/kg *i.p.*) tijekom tri dana te zatim ozračenih dozom od 4 Gy.

	Broj stanica		
	Bez MN	1MN	2MN
Kontrola	1961,20 ± 6,51	38,60 ± 6,46	0,20 ± 0,20
VOP	1964,00 ± 5,48	35,00 ± 5,51	1,00 ± 0,28
AOP	1961,40 ± 4,15	37,40 ± 4,25	1,20 ± 0,24
Kvercetin	1969,20 ± 8,73	30,40 ± 8,00	0,40 ± 0,75
Kafeinska kiselina	1960,40 ± 9,94	38,20 ± 9,65	1,40 ± 0,58
Krizin	1947,80 ± 13,74	50,20 ± 12,82	2,00 ± 0,95
Naringin	1954,80 ± 7,32	44,00 ± 6,91	1,20 ± 0,49
AET	1964,00 ± 6,43	21,00 ± 9,27	0,60 ± 0,24

VOP – vodena otopina propolisa; AOP – alkoholna otopina propolisa;
AET – 2-aminoetilizotioureja dihidrobromid

Tablica 2. Rezultati χ^2 testa za utvrđivanje razlika između pokusnih skupina za broj retikulocita s mikronukleusima u perifernoj krvi miševa, obrađenih propolisom i flavonoidima (100 mg/kg *i.p.*) tijekom tri dana te zatim ozračenih dozom od 4 Gy.

	Kon	VOP	AOP	Q	CA	Chr	Nar	AET
Kon		p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05
VOP			NZ	NZ	NZ	p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05
AOP				p < 0,05	NZ	p < 0,05	NZ	p < 0,05
Q					p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05
CA						p < 0,05	p < 0,05	p < 0,05
Chr							p < 0,05	p < 0,05
Nar								p < 0,05
AET								

VOP: vodena otopina propolisa; AOP: alkoholna otopina propolisa; Q: kvercetin; CA: kafeinska kiselina; Chr: krizin; Nar: naringin; AET: 2-aminoetilizotioureja dihidrobromid; NZ: nije statistički značajno.

Tablica 3. Broj retikulocita s mikronukleusima (MN) u perifernoj krvi miševa nakon obrade propolisom i flavonoidima (100 mg/kg) tijekom tri dana.

	Broj stanica	
	Bez MN	Sa 1MN
Kontrola	1997,20 ± 3,84	2,80 ± 3,84
VOP	1997,00 ± 0,63	3,00 ± 0,63
AOP	1996,80 ± 0,97	3,20 ± 0,97
Kvercetin	1996,80 ± 0,66	3,00 ± 0,63
Kafeinska kiselina	1996,75 ± 0,95	3,25 ± 0,95
Krizin	1996,40 ± 1,12	3,60 ± 1,12
Naringin	1997,00 ± 0,63	3,00 ± 0,63
AET	1994,13 ± 0,65	4,13 ± 0,29

Hosseimimehr i sur. [10] dokazali su smanjenje broja mikronukleusa u retikulocitima periferne krvi miševa nakon preventivne obrade flavonoidima iz naranče (*Citrus aurantium* var *amara*) davanima *i.p.* i zračenja dozom od 1,5 Gy. Shimoi i sur. [11] pokazali su da nakon preventivnog *p.o.* davanja miševima roibos čaja (*Aspalathus linearis*) i ozračivanja dozom od 1,5 Gy dolazi do smanjenja pojavnosti mikronuklearnih retikulocita u perifernoj krvi. Iz čaja su izolirali 12 flavonoida koji su pokazali antiklastogenično i antioksidativno djelovanje.

ZAKLJUČAK

Vodena i alkoholna otopina propolisa i flavonoidi pokazali su zaštitni učinak na razine oštećenja u krvnim stanicama miševa uzrokovanih

ionizirajućim zračenjem. Daljnjim istraživanjima trebalo bi utvrditi točne mehanizme njihovog djelovanja te optimalne doze koje bi se mogle primjenjivati, primjerice kao dodaci prehrani pacijenata liječenih radioterapiji ili u osoba profesionalno izloženih zračenju.

LITERATURA

- [1] Heylmann D, Rödel F, Kindler T, Kaina B. Radiation sensitivity of human and murine peripheral blood lymphocyte test, stem and progenitor cells. *Biochim Biophys Acta* 2014;1846:121–129.
- [2] Uma Devi P. Radiosensitivity of the developing haemopoietic system in mammals and its adult consequences: animal studies. *Br J Radiol* 2003;76:366–372.
- [3] Wang Y, Schulte BA, LaRue AC, Ogawa M, Zhou D. Total body irradiation selectively induces murine hematopoietic stem cell senescence. *Blood* 2006;107:358–66.
- [4] Bankova V, Popova M, Bogdanov S, Sabatini AG. Chemical composition of European propolis: expected and unexpected results. *Z Naturforsch [C]* 2002;57:530–533.
- [5] Boisard S, Le Ray AM, Landreau A, Kempf M, Cassisa V, Flurin C, Richomme P. Antifungal and antibacterial metabolites from a French poplar type propolis. *Evid Based Complement Alternat Med* 2015:319240.
- [6] Banskota AH, Tezuka Y, Kadota S. Recent progress in pharmacological research of propolis. *Phytother Res* 2001;15:561–571.
- [7] Galati G, O'Brien PJ. Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: Significance for their chemopreventive and anticancer properties. Serial Review: Flavonoids and Isoflavones (Phytoestrogens): Absorption, Metabolism, and Bioactivity. *Free Radic Biol Med* 2004;37:287–303.
- [8] Nagai T, Nagashima T, Myoda T, Inoue R. Preparation and functional properties of extracts from bee bread. *Nahrung* 2004;48:226–229.
- [9] Hayashi M, MacGregor JT, Gatehouse DG, Adler ID, Blakey DH, Dertinger SD, Krishna G, Morita T, Russo A, Sutou S. In vivo Rodent Erythrocyte Micronucleus assay. II. Some Aspects of Protocol Design Including Repeated Treatments, Integration With Toxicity Testing, and Automated Scoring. *Environ Mol Mutagen* 2000;35:234–252.
- [10] Hosseinimehr SJ, Tavakoli H, Pourheidari G, Sobhani A, Shafiee A. Radioprotective effects of citrus extract against gamma-irradiation in mouse bone marrow cells. *J Radiat Res* 2003;44:237–241.
- [11] Shimoi K, Masuda S, Shen B, Furugori M, Kinae N. Radioprotective effects of antioxidative plant flavonoids in mice. *Mutat Res* 1996;350:153–161.

ASSESSMENT OF THE RADIOPROTECTIVE EFFECTS OF PROPOLIS AND ITS POLYPHENOLIC COMPOUNDS IN MICE USING MICRONUCLEUS TEST IN RETICULOCYTES

Vesna Benković¹, Anica Horvat Knežević¹, Tihana Cikač¹, Mirta Milić² and Nevenka Kopjar²

¹Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
vesna@biol.pmf.hr

Hematopoietic stem cells of mice are extremely sensitive to the effects of ionizing radiation. Genome damage lead to formation of micronuclei (MN) that remain in the cytoplasm, in contrast to the nucleus, which during maturation of erythrocytes is expelled from the cell. Micronuclei can be detected by sensitive staining methods using dyes which specifically bind to DNA. This principle is used in the so called *in vivo* MN test. The aim of this study was to evaluate the radioprotective effects of propolis and its polyphenolic compounds: quercetin, caffeic acid, chrysin and naringin on the level of genome damage in Swiss albino mice. The mice were treated for three days with the test substances (100 mg/kg, *i.p.*) and then irradiated γ -irradiation at a dose 4 Gy. Non-irradiated animals were studied simultaneously. 48 h after irradiation blood samples were collected and blood smears were prepared. Following staining with acridine-orange, preparations were analysed under fluorescent microscope. In each sample 2000 reticulocytes were counted, and the total number and distribution of MN was determined. Groups of mice that were pre-treated with propolis and flavonoids had a smaller number of MN compared to the irradiated mice. Particularly effective radioprotector was quercetin. Test substances did not cause significant damage to the genome of non-irradiated mice. The obtained results speak in favour of further research of natural compounds with radioprotective properties, especially to clarify the mechanisms of their protective effect on DNA, and to establish their potential use as food supplements in patients who undergo radiotherapy or in subjects occupationally exposed to ionising radiation.

**INSTRUMENTACIJA
I MJERNE TEHNIKE**

***INSTRUMENTATION AND
MEASURING TECHNIQUES***

MetroERM - METROLOGY FOR RADIOLOGICAL EARLY WARNING NETWORKS IN EUROPE

*D. Glavič-Cindro¹, T. Petrovič¹, D. Brodnik¹, M. Vencelj¹,
Steven James Bell², Lynsey Keightley², Selina Woods², Pierino De Felice³,
Francesco Cardellini³ and Stefan Neumaier⁴*

¹Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

²National Physical Laboratory (NPL), Teddington, UK

³ENEA Centro Ricerche Casaccia, Roma, Italy

⁴Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany
denis.cindro@ijs.si

INTRODUCTION

In an event of a major radiological emergency, the early and reliable knowledge of radioactivity concentrations in air, and subsequently the assessment of contamination levels of farmland and of dose rate levels in urban areas are of key importance in organizing sound countermeasures for the protection of the general public from the dangers arising both from direct external radiation and from intake of radioactivity by ingestion or inhalation of contaminated food and air. Therefore in 2014, a 3-year EMRP joint research project Metrology for radiological early warning networks in Europe (MetroERM) has been launched [1]. The aim of this project is to develop methods for the harmonization of reported values on both dose rate and airborne radioactivity concentrations so that data related to the same trans-boundary event measured by different networks using different detectors are directly comparable. In addition, within this project new measurement techniques based on novel spectrometry systems with state of the art detection materials, such as LaBr₃, CdZnTe or CeBr₃ were developed with the aim to allow both the calculation of dose rates and the calculation of contamination levels including nuclide-specific information at the same time [2].

Another task of this project is to improve the capacity of the early warning networks by the development of new methods and systems for rapid ad-hoc radioactive air concentration measurements to efficiently supplement global early warning data with accurate information on airborne radionuclide content. With the development of new modular air sampling systems which can be easily transported to locations for the detection of

airborne radioactive particulate, the information content provided by early warning networks in real time can be considerably increased.

THE COMPACT RADIOACTIVE AIRBORNE PARTICULATE MONITORING INSTRUMENT DEVELOPED AT JSI

In the frame of this project a compact portable aerosol sampling and measurement device was developed at the Jožef Stefan Institute. The system incorporates a CeBr₃ scintillation detector positioned centrally within a concertinaed filter assembly and an improved high flow rate air pump with a stable flow rate up to 200 m³/h. It provides continuous on-line low level airborne radioactive particulate monitoring for field station use, connected directly via 3G network communication to a remote diagnostic center. The entire device is assembled into a heavy-duty portable Peli Case 1740 with exterior dimensions of 37 cm (height without cover), length of 114 cm and width of 50 cm. A schematic representation of the entire system assembly is shown in Figure 1 and described in detail in [3].

INSTRUMENT TESTING AND CALIBRATION

The validation of the compact radioactive aerosol particulate monitoring device was performed at the National Physical Laboratory (NPL) in Teddington, UK. Two filters were spiked with a certified solution containing a mix of radionuclides with 14 prominent gamma-ray lines between 60 keV and 1836 keV (²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ¹³⁹Ce, ⁵¹Cr, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ⁸⁸Y, ⁶⁵Zn, ⁶⁰Co). The relative activities of the radionuclides in the mixture were chosen such that their photoabsorption peaks in the gamma-ray spectrum were of comparable sizes. To make the distribution of activity over the filter appear as homogenous as possible, filters were spiked by drop-deposition of the solution on the filter cylinders along 11 equidistant rings. A total of 47.5 kBq was deposited to produce a high activity filter and 153 Bq for a low activity one.

The measurement with the high activity filter was performed for 3440 seconds without pumping air through the filter. The gamma-ray spectrum collected during this measurement is presented in Figure 2. Since the exact activities of each radionuclide spiked on the filter are known a priori, we determined the photoabsorption efficiency calibration curve from the measured net areas of each spectral peak, the branching ratios for gamma emission and half-lives of the radionuclides. The plot of the efficiency curve is shown in Figure 3.

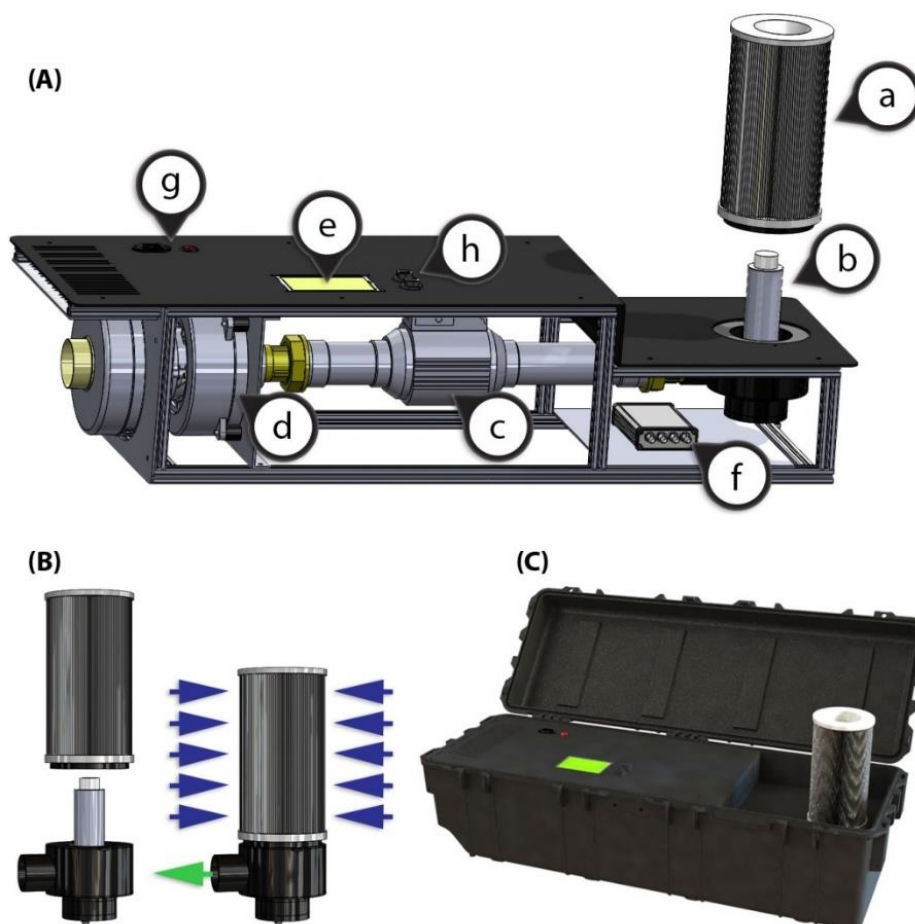


Figure 1. Air pump system assembly (A):

a) concertina aerosol filter, b) CeBr_3 detector with integrated bias voltage supply, c) flow meter, d) air pump motor and turbine (brushless blower), e) microcontroller unit with TFT touch screen and I/O controls, f) preamplifier and digital pulse processing unit, g) 230 V AC power IEC connector and ON/OFF switch with LED indicator and h) 2 USB connectors for firmware upgrades and serial communication with a PC.

Image (B) illustrates the filter assembly, multiple arrows indicate entry of air through the filter and the single arrow shows airflow output into the flow meter.

Image (C) presents a top view of the entire system in a rugged Peli Case.

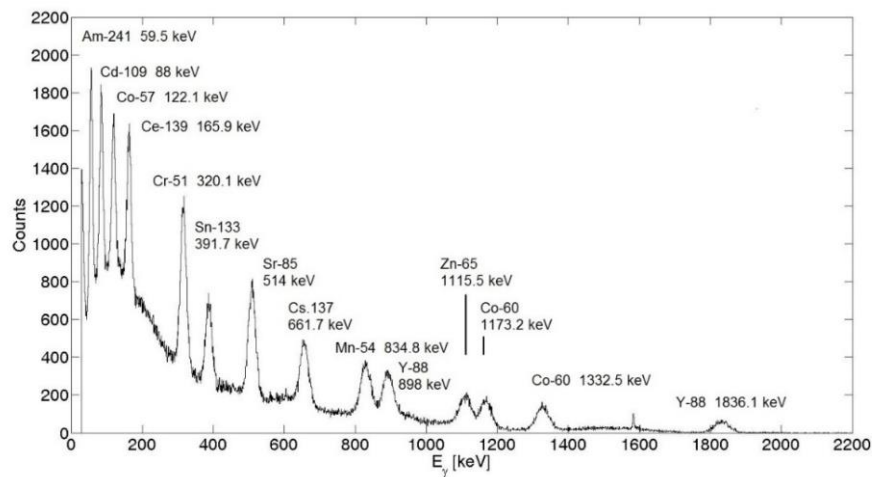


Figure 2. Gamma-ray energy spectrum as measured with the high activity filter. The narrow peak at 1580 keV is an artefact due to an erroneous software setting on the signal processing unit.

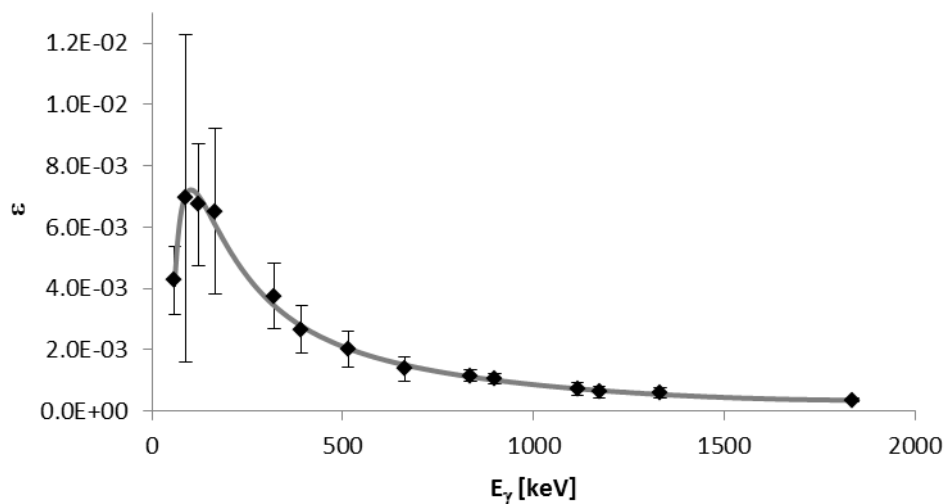


Figure 3. Photoabsorption efficiency characteristic, calculated from the high-activity filter data.

In addition to validation of the system, the evaluation of the response of the compact aerosol monitoring device to an increased background radiation was investigated. The study of the response of the system to radon and thoron background was performed at ENEA in a walk-in radon chamber

where elevated radon and thoron concentrations are controlled via a ventilation system and a radon pipe in the floor. At the time of this study the activity concentration of radon was around 3000 Bq/m³.

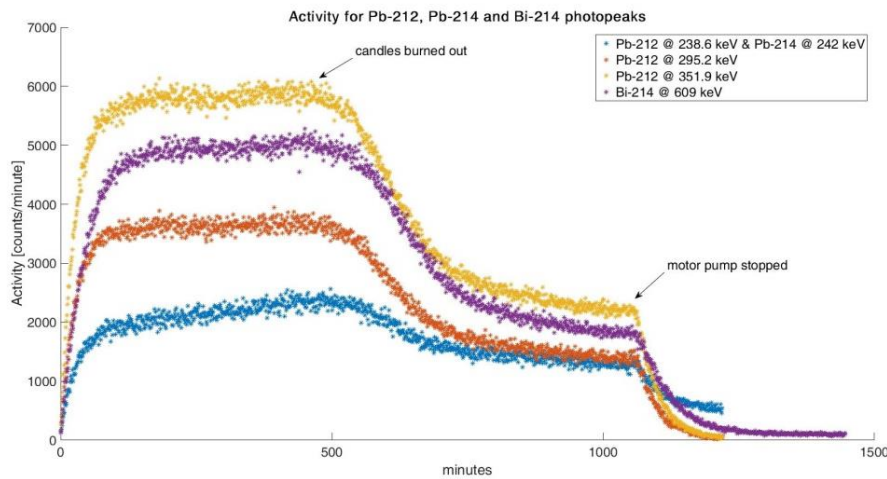


Figure 4. Activity of several of radon / thoron progeny measured on minute interval.

Measurements were performed at high radon concentrations both without production of artificial aerosols and with artificial aerosols provided by candle burning. A further measurement at an intermediate radon concentration without artificial aerosols was also performed. In parallel to the measurements of radon progeny with the compact portable aerosol sampling and measurement device also direct measurements of radon concentration with Tracerlab and AlphaGuard monitors were performed. Figure 4 presents the set of measurements of radon progeny with our compact aerosol device at elevated aerosol concentrations with artificial aerosols where activities were evaluated from gamma emissions of radon progeny. After switching the pump on, the aerosols started to accumulate on the filter which manifested as an increase of specific on-filter activity of all progeny. A plateau was reached when the on-filter decay rate of radon progeny caught up with the stick-up rate of aerosols on filter. When the candles burned out, the total activity on filters decreased to a lower activity due to the decrease of aerosol availability in the air. Measured activities decreased completely after switching the pump off, except for the gamma line at 242 keV, not attributable solely to Pb-214 due to the overlap with the thoron progeny Pb-212 line at 238.6 keV, with a longer decay time.

CONCLUSION

The compact radioactive aerosol particulate monitoring device developed at JSI provides continuous, sensitive, on-line airborne radioactive particulate monitoring for field station use. With the defined energy calibration and photoabsorption efficiency characteristic, one can accurately determine airborne gamma activities, including also radon / thoron progeny.

The main advantage of the system, compared to other on-line air monitors, is that the compact radioactive aerosol particulate monitoring device is incorporated in a heavy-duty portable case which is easily transportable to different measurement locations. Since the system provides relatively high flow rates, low activities of airborne radionuclides can also be quickly measured. With prompt and continuous online detection and 3G connectivity it enables human-error free data relay from remote field stations to a centralized system for the evaluation of the spectral information on gamma-emitting radionuclides, as well remote control over the unit settings and operation.

Acknowledgment

The authors are indebted to EURAMET for financially supporting the cooperation in the intercomparison efforts within the EMRP joint research project “Metrology for radiological early warning networks in Europe” (MetroERM) which has received funding from the European Union on the basis of Decision No 912/2009/EC, as well as to the partners in the project for their cooperation. The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union.

REFERENCES

- [1] Annex Ia - JRP-Protocol, ENV57 MetroERM, Metrology for radiological early warning networks in Europe, JRP-Coordinator Stefan Neumaier, PTB, Version Date: 27 May 2014, Start date: 01 June 2014.
- [2] Bell SJ, Aitken-Smith P, Beeke S, Collins SM, Regan PH, Shearman R.. A comparison of emerging gamma detector technologies for airborne radiation monitoring, IOP Journal of Physics: Conference Series, 2016;763:012010.
- [3] Glavič-Cindro D, Brodnik D, Petrovič T, Vencelj M, Ponikvar D, Bell SJ, Keightley L, Woods S. Compact radioactive aerosol monitoring device for early warning networks, Applied Radiation and Isotopes 2016; <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.12.036>

MetroERM - METROLOGY FOR RADIOLOGICAL EARLY WARNING NETWORKS IN EUROPE

*D. Glavič-Cindro¹, T. Petrovič¹, D. Brodnik¹, M. Vencelj¹,
Steven James Bell², Lynsey Keightley², Selina Woods², Pierino De Felice³,
Francesco Cardellini³ and Stefan Neumaier⁴*

¹Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

²National Physical Laboratory (NPL), Teddington, UK

³ENEA Centro Ricerche Casaccia, Roma, Italy

⁴Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany,
denis.cindro@ijs.si

The main aim of the European metrological research project Metrology for radiological early warning networks in Europe (MetroERM) is to improve the metrological foundation of measurements of fundamental radiological quantities such as ambient dose equivalent rate, radioactivity concentrations in air and ground contamination levels in real-time, as well as to introduce pan-European harmonisation in data reliability for area dose rate measurements which are input to the European Radiological Data Exchange Platform (EURDEP) and other monitoring networks.

Within this project new measurement techniques based on novel spectrometry systems, such as LaBr₃, CdZnTe or CeBr₃ with the aim to allow both the calculation of dose rates and the calculation of contamination levels including nuclide-specific information at the same time were developed and tested. Beside this, the information content provided by early warning networks in real time can be considerably increased with new modular air sampling systems which can be easily transported to locations for the detection of airborne radioactive particulate.

In the frame of this project a compact portable aerosol sampling and measurement device was developed at Jožef Stefan Institute. The system incorporates a CeBr₃ scintillation detector positioned centrally within a concertinaed filter assembly and an improved high flow rate air pump with a stable flow rate up to 200 m³/h. It provides continuous on-line low level airborne radioactive particulate monitoring for field station use, connected directly via 3G network communication to a remote diagnostic center. The system was tested and calibrated at NPL, UK. The response to radon and thoron progeny was studied at the walk in radon chamber at ENEA, Italy.

COINCIDENCE GAMMA-RAY SPECTROMETRY

Nikola Marković, Per Roos and Sven Poul Nielsen

Technical University of Denmark, Center for Nuclear Technologies,
Radioecology Section, Roskilde, Denmark

nikmar@dtu.dk

INTRODUCTION

Gamma-ray spectrometry with high-purity germanium (HPGe) detectors is often the technique of choice in an environmental radioactivity laboratory. It is non-destructive, special radio-chemical sample preparation is not needed and many radionuclides can be determined in single measurement so it is used for fast and routine determination of radionuclides. When measuring environmental samples associated activities are usually low so an important parameter that describes the performance of the spectrometer for a nuclide of interest is the minimum detectable activity (MDA), the lowest activity which ensures a specified probability of being detectable by the measurement procedure (following the ISO11929 standard). To lower the detection limits and MDAs, spectrometers with higher efficiencies are used, larger sample sizes are counted for longer time and spectrometer background is reduced. There are many methods for background reduction and they can be roughly divided into the passive and active ones. Passive methods include placing detectors in lead shields made of special radiopure lead to reduce the outside background component. To reduce Pb X-rays produced in the shield, inner graded lining of Cd/Sn and Cu is introduced. Nitrogen boiling-off from Dewar flask is used for flushing inside the shield and making overpressure thus reducing the inflow of airborne radon from outside the shield. Special radiopure materials are used in low-level detectors production and detectors are made with remote preamplifiers to minimize the presence of radio-impurities within the shield. Finally, for the ultimate low-level measurements, detectors are placed deep underground to remove the cosmic-ray induced background component [1]. Active background reduction includes special veto detectors surrounding the shield operated in anticoincidence with the HPGe detector for cosmic background reduction [2,3], pulse-shape analysis (PSA) methods [4,5] and additional detectors placed inside the shield around the main detector for reduction of the incompletely absorbed photons (Compton) background

component [6–8] and the use of multiple HPGe detectors operated in coincidence. When coincidence gamma-spectrometry is used, coincident signals coming from cascade emitting nuclides can be extracted thus significantly reducing the background as random coincidences are very unlikely. This is especially evident when there is high activity of other nuclides in the sample contributing to high Compton background. When the nuclide of interest is a single-gamma emitter, coincidence signal can be subtracted from the total to lower the background.

Recent developments of fast and compact digital acquisition systems, with equivalent or better energy resolution when compared to standard analog electronics, led to growing number of applications in which multiple detectors are used. Majority of the applications are within the Comprehensive-Nuclear-Test Ban Treaty (CTBTO) programme where rapid and sensitive determination is needed [9,10] but there is also justification for the use in the standard environmental radioactivity measurement laboratories [11,12].

In this work, we present a new method for increasing the efficiency of two detector coincidence system by summing the coincident signal to reconstruct the full energy of a photon that is Compton scattered between the two detectors.

MATERIAL AND METHODS

The Gamma Laboratory at the Radioecology Section at Center for Nuclear Technologies (DTU Nutech) is a surface laboratory operating around 20 HPGe detectors. Two of those are part of a coincidence gamma system NUCLeGeS [11]. The detectors are placed in 20 cm thick lead shield with 5 mm Sn and 3 mm Cu inner lining. Both detectors are in remote preamplifier configurations. The lower detector has an integral U-type cryostat, while the upper has integral vertical cryostat with the detector facing down. This configuration enables easy movement of the upper detector thus allowing various sample heights to fit in between the detectors. The detectors are low-energy (Canberra GL3825R), with 0.5 mm carbon window. A two channel digital multichannel analyser CAEN N6781A is used for acquisition. The preamplifier signal from each of the detectors is fed into the separate input of the digital multichannel analyser, data is recorded in a list mode file with 10 ns time resolution (100 MS/s sampling rate) and each event is saved with its energy and trigger timestamp. This way all the acquired information is saved and data is analysed in post-processing enabling optimal setting of coincidence and energy gating

parameters. From only one measurement multiple spectra can be produced with the parameter settings matching the nuclide of interest. Post-processing analysis is based on the software developed in MATLAB that does the coincidence identification and optional energy gating, calculates all the necessary spectra parameters like acquisition start time, live and dead time, and prepares in GENIE2000.CAM format ready for the analysis.

RESULTS

To examine the possibility of a full energy reconstruction for photons that are Compton scattered between the detectors, list mode measurements with ^{60}Co and ^{137}Cs point sources are done. Point sources were placed between the detectors and the detectors were set around 4 cm apart. A coincidence map is generated in post-processing, Figure 1a, showing all the events detected within the time window of 1.8 μs . Gamma-gamma coincidences contribute to vertical and horizontal line in the map, while coincidences originating from single photon depositing its energy in both detectors are in diagonal lines. In Figure 1b, two possible gamma traces for a photon interacting with both of the detectors are shown. Such a photon would be represented on a diagonal line in the 2D coincidence spectrum. The sum of X and Y axis energies from the events in diagonal lines gives the total gamma energy.

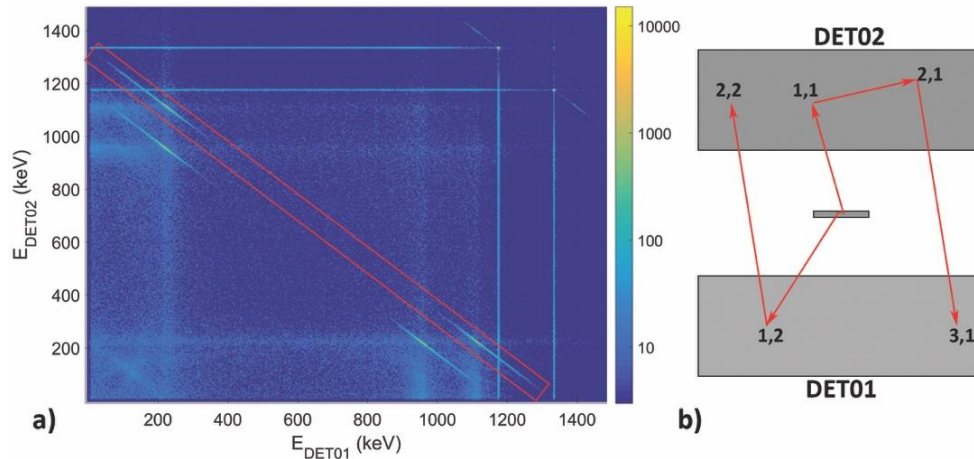


Figure 1. a) 2D coincidence spectrum of ^{60}Co point source. Coincidences that are coming from a single 1332.5 keV gamma line depositing its energy in both detectors are shown in red square. b) Example of two gamma ray traces leading to diagonal lines in the left.

Total gamma spectrum from both detectors and reconstructed spectrum obtained by summing the energies of coincident events are shown in Figure 2. When the peak areas from both spectra are added, an efficiency increase of around 9 % for each of the lines is achieved. The same was tested with ^{137}Cs point source. The efficiency increase for 661.7 keV line is around 9.5 %. A ^{226}Ra point source was used to test the low energy part where only 3.3 % gain is observed at 186.2 keV. The detectors are low-energy types, with thin crystals and not intended for high energy applications where Compton scattering is more probable. More pronounced effects can be expected at higher energies and with bigger detectors. The method works for both single gamma and cascade-emitting nuclides, but with cascade-emitting nuclides special care has to be taken so that the coincidence sum of two photons in cascade is not attributed to the line coming from direct transition to the ground state (as for example ^{214}Bi 1764.5 keV line).

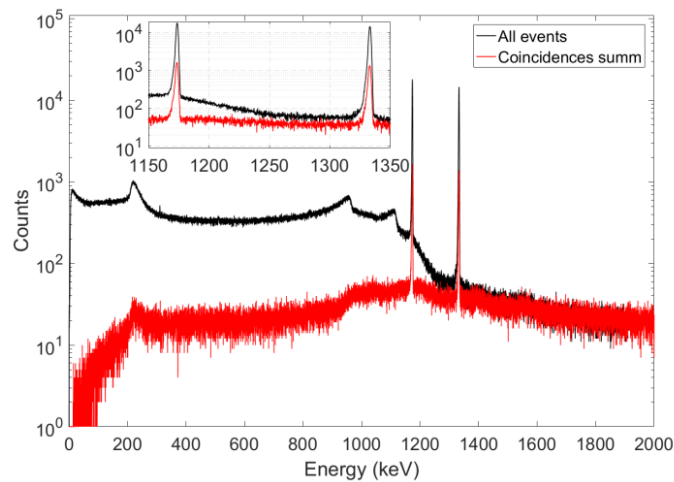


Figure 2. ^{60}Co spectrum of total events from both detectors (black) and spectrum generated by adding energies of coincident signals to reconstruct the full photon energy.

CONCLUSION

Up to 10 % increase in efficiency is achieved by taking the sum of coincident events from a low-energy dual HPGe spectrometer system. The effect of this on MDA is probably slightly lower because there is also an increase in background around the peaks, but if developed further this could be a nice addition to the coincidence analysis toolbox.

REFERENCES

- [1] Hult M. Low-level gamma-ray spectrometry using Ge-detectors, *Metrologia* 2007;44:S87–S94.
- [2] Theodorsson P, Heusser G. External guard counters for low-level counting systems, *Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B*. 1991;53:97–100.
- [3] Mrđa D, Bikit I, Zikić-Todorović N, Forkapić S, Slivka J, Vesković M. First tests of the active shield for a gamma ray spectrometer, *Radiat. Meas.* 2007;42:1361–1367.
- [4] González De Orduña R, Hult M, Andreotti E, Budjáš D, Schönert S, Misiaszek M. Pulse shape analysis to reduce the background of BEGe detectors, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2010;286:477–482.
- [5] Mi YH, Ma H, Zeng Z, Cheng JP, Li JL, Zhang H. Compton suppression in BEGe detectors by digital pulse shape analysis, *Appl. Radiat. Isot.* 2017;121:96–100.
- [6] Murray AS, Aitken MJ. Analysis of Low-level Natural Radioactivity in Small Mineral Samples for use in Thermoluminescence Dating, using High-resolution Gamma Spectrometry, *Appl. Radiat. Isot.* 1988;39:145–158.
- [7] Britton R. Compton suppression systems for environmental radiological analysis, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2012;292:33–39.
- [8] Marković M, Roos P, Nielsen SP. Low-level gamma-ray spectrometry for the determination of ^{210}Pb , *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2017;311:1473–1478.
- [9] Britton R, Davies AV, Burnett JL, Jackson MJ. A high-efficiency HPGe coincidence system for environmental analysis, *J. Environ. Radioact.* 2015;146:1–5.
- [10] Cagniant A, Delaune O, Réglat M, Douysset G, Gross P, Le Petit G. Ground surface ultralow background spectrometer: Active shielding improvements and coincidence measurements for the Gamma3 spectrometer, *Appl. Radiat. Isot.* 2017;doi:10.1016/j.apradiso.2017.01.044.
- [11] Marković N, Roos P, Nielsen SP. Digital gamma-gamma coincidence HPGe system for environmental analysis, *Appl. Radiat. Isot.* 2017;doi:10.1016/j.apradiso.2016.12.017.
- [12] Paradis H, Ott AdeV, Cagant X, Piquemal F, Gurriaran R. Leda: a gamma-gamma coincidence spectrometer for the measurement of environment samples, *Appl. Radiat. Isot.* 2017;doi:10.1016/j.apradiso.2016.12.049.

COINCIDENCE GAMMA-RAY SPECTROMETRY

Nikola Marković, Per Roos and Sven Poul Nielsen
Technical University of Denmark, Center for Nuclear Technologies,
Radioecology Section, Roskilde, Denmark
nikmar@dtu.dk

Gamma-ray spectrometry with high-purity germanium (HPGe) detectors is often the technique of choice in an environmental radioactivity laboratory. When measuring environmental samples associated activities are usually low so an important parameter that describes the performance of the spectrometer for a nuclide of interest is the minimum detectable activity (MDA). There are many ways for lowering the MDAs in gamma spectrometry. Recently, developments of fast and compact digital acquisition systems have led to growing number of multiple HPGe detector spectrometers. In these applications all detected events are recorded in a list mode file with their timestamp and energy, enabling coincidence identification and spectrum manipulation in post-processing. When coincidence gamma-spectrometry is used for cascade emitting nuclides, coincident signals can be extracted thus significantly reducing the background, as random coincidences are unlikely. This is especially evident when there is high activity of other nuclides present in the sample contributing to high Compton background. When the nuclide of interest is a single-gamma emitter, coincidence signal can be subtracted from the total to lower the background.

In this work, we present a new coincidence spectrometer operated at the Gamma Laboratory of the Radioecology Section at Center for Nuclear Technologies (Nutech). NUCLeGeS consists of two HPGe detectors equipped with a digital acquisition system enabling timestamped list mode data acquisition with 10 ns time resolution. Post-processing software enables coincidence identification and produces spectra ready for use with GENIE2000 analysis software.

PRAKTIČNA PRIMJENA MATEMATIČKE KALIBRACIJE U GAMA SPEKTROMETRIJI

Ivana Tucaković, Ivana Coha i Gorana Karanović

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

ivana.tucakovic@irb.hr

UVOD

Gama spektrometrija visoke razlučivosti je nuklearna analitička tehnika koja se koristi za određivanje radionuklida u najrazličitijim vrstama uzoraka, od konzumnih namirnica i okolišnih uzoraka, do otpada nuklearnih elektrana. Za točno kvantitativno određivanje ova tehnika zahtijeva visoku točnost pri određivanju efikasnosti detektora koja, između ostalog, ovisi i o vrsti i sastavu materijala te o geometriji uzorka kojeg treba analizirati. Pri kalibraciji efikasnosti uobičajeno se koriste standardi s nuklidima poznate aktivnosti, najslićniji mjerenom uzorku svojim sastavom i geometrijom. Osim toga, postoji i mogućnost matematičkog određivanja efikasnosti, modeliranjem zadane geometrije. To može znatno olakšati ukupnu proceduru analize, budući da je često teško doći do zadovoljavajućeg standarda koji bi odgovarao ponekad vrlo specifičnoj vrsti uzorka kojeg treba analizirati. U Laboratoriju za radioekologiju Instituta Ruđer Bošković koristimo HPGe detektore tvrtke Canberra koja je razvila i Laboratory SOurceless Calibration Software (LabSOCS), alat za određivanje efikasnosti bez izvora. Svrha ovog rada je usporediti točnost i preciznost standardne kalibracije s izvorom i matematičke kalibracije dobivene modeliranjem, kako bi se pokazale mogućnosti njezine primjene za uzorke specifičnog sastava i nestandardnih geometrija, kao što su, primjerice, uzorci meda i borosilikatnih filtera.

MATERIJALI I METODE

Za mjerenja u ovom istraživanju korišten je Canberrin germanijski detektor visoke čistoće, širokog raspona energija (*Broad energy* HPGe), rezolucije 1,95 keV na energiji od 1332 keV i relativne efikasnosti od 48 %, s originalnom olovnom zaštitom. Mjereni spektri analizirani su korištenjem programa Genie 2000, a matematička kalibracija efikasnosti određena je korištenjem programskog paketa LabSOCS. Opis metode matematičke kalibracije, validacija njezine točnosti, kao i studije nesigurnosti mjernih

rezultata zbog nesigurnosti u sastavu mjerene matrice, gustoće i geometrije uzorka za tipične okolišne uzorke (voda, tlo vegetacija), mogu se naći u literaturi [1-3]. Za provjeru točnosti i preciznosti rezultata dobivenih ovom metodom u Laboratoriju za radioekologiju Instituta Ruđer Bošković, koristili smo interkomparacijski uzorak sheme MRAD za matricu tla, te standard proizvođača Analytics za matricu vegetacije. Interkomparacijski uzorak tla pripremljen je stavljanjem u standardno korištenu plastičnu mjernu posudu cilindričnog oblika visine 49 mm, promjera 62 mm, u kakvoj je zaprimljen i standard matrice vegetacije. Mjerenja su vršena u trajanju od 80 000 sekundi.

Rezultati analize dobiveni korištenjem matematičke kalibracije prikazani su u idućem poglavlju i uspoređeni s pridijeljenim vrijednostima dobivenim od strane organizatora odnosno proizvođača standarda.

Ista metoda i provjera njene točnosti i preciznosti provedena je u ovom Laboratoriju i za nestandardne geometrije meda i borosilikatnih filtera [4].

Naime, kao idealan slučajni uzorak za praćenje kontaminacije, primjerice ^{137}Cs , na većim područjima koriste se uzorci meda, budući da pčele u potrazi za nektarom i peludom prekrivaju površinu i do 50 km^2 [5]. S druge strane, za studiju različitih atmosferskih procesa često se koriste prirodni radionuklidi ^{210}Pb i ^7Be , koji se dobro adsorbiraju na atmosferske čestice. Za određivanje njihove koncentracije u zraku, mogu se koristiti gama spektrometrijska mjerenja filtera kroz koje je atmosferski zrak filtriran. U izradi spomenute studije [4] korišteni su Whatman[®] borosilikatni filtri s porama veličine $0,7 \mu\text{m}$, presjeka 47 mm, 0,42 mm debljine, preko kojih se filtrirao atmosferski zrak tijekom dva dana.

Točnost određivanja koncentracija aktivnosti u ovakvim reprezentativnim okolišnim uzorcima ovisi i o kvaliteti kalibracije efikasnosti. Za specifične geometrije, kao što su med i borosilikatni filtri, često je nemoguće ili preskupo nabaviti kvalitetne standardne materijale. Iz tog se razloga pri analizama koriste standardni materijali slične gustoće. Primjerice, za određivanje koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u medu u dosadašnjem radu su se koristile krivulje efikasnosti određene iz standarda materijala tla. U navedenom istraživanju analiza je napravljena modeliranjem matrice meda i matematičkom kalibracijom, a razmatran je i utjecaj na efikasnost mogućih varijacija u sastavu meda s obzirom na udio različitih vrsta šećera i vode koji se u realnim rasponima varijacija pokazao zanemarivim. Zato se za modeliranje uzoraka meda uvijek koristio isti sastav (75 % monosaharida, 10 % disaharida i 15 % vode) dok je svakom pojedinačnom mjerenom uzorku pridijeljena njegova realna gustoća.

REZULTATI

Tablica 1 prikazuje rezultate analize interkomparacijskog uzoraka tla sheme MRAD proizvođača ERA. Navedeni su prisutni radionuklidi, njihove od strane organizatora pridijeljene masene aktivnosti, aktivnosti dobivene analizom uz korištenje matematičke kalibracije, te njihova usporedba kroz relativnu razliku u postocima. Navedeni su i rasponi prihvatljivosti rezultata, koji pokazuju da su sve dobivene vrijednosti prihvatljive. Kombinirana mjerna nesigurnost ($k = 1$) sadrži i nesigurnost određivanja površine određenog foto vrha dobivene strojnom obradom. Od ostalih parametara koji pridonose mjernoj nesigurnosti, mjerna nesigurnost efikasnosti koja je unesena u softver prilikom analize varira u rasponu od 10 % na nižim do 4 % na višim energijama.

Tablica 1. Rezultati analize masenih aktivnosti (A) radionuklida u interkomparacijskom uzorku tla iz sheme MRAD proizvođača ERA dobiveni matematičkom kalibracijom, i njihova usporedba s pridijeljenim vrijednostima masenih aktivnosti.

Nuklid	Pridijeljena vrijednost A (pCi /kg)	Raspon prihvatljivosti A (pCi/kg)	Mjerena vrijednost A (pCi/kg)	Relativna razlika (%)
²⁴¹ Am	539	315 - 700	543 ± 57	0,74
¹³⁴ Cs	2420	1580 - 2910	2521 ± 68	4,17
¹³⁷ Cs	5120	3920 - 6590	5383 ± 324	5,14
⁶⁵ Zn	3620	2880 - 4810	3880 ± 160	7,18
⁶⁰ Co	3900	2640 - 5370	4117 ± 118	5,56
⁴⁰ K	10600	7740 - 14200	9763 ± 429	-7,90

Tablica 2 prikazuje rezultate analize standardnog uzorka vegetacije proizvođača Analytics. Navedeni su prisutni nuklidi i pridijeljene vrijednosti masene aktivnosti s mjernim nesigurnostima, vrijednosti aktivnosti dobivene analizom korištenjem matematičke kalibracije, te njihova usporedba kroz relativnu razliku u postocima. Mjerna nesigurnost određena je na isti način kao i za uzorak tla.

Analize oba uzorka pokazuju zadovoljavajuće slaganje dobivenih u odnosu na pridiyeljene vrijednosti, pri čemu niti jedan rezultat ne odstupa više od 8 % od pridiyeljene vrijednosti.

Tablica 2. Rezultati analize masenih aktivnosti (*A*) radionuklida u standardnom uzorku vegetacije proizvođača Analytics dobiveni matematičkom kalibracijom, i njihova usporedba s pridiyeljenim vrijednostima masenih aktivnosti.

Nuklid	Pridijeljena vrijednost <i>A</i> (kBq/kg)	Mjerena vrijednost <i>A</i> (kBq/kg)	Relativna razlika (%)
²⁴¹ Am	73,5 ± 1,3	76,0 ± 7,7	3,40
¹⁰⁹ Cd	992 ± 23	1050 ± 109	5,85
⁵⁷ Co	23,7 ± 324	22,8 ± 1,8	-3,80
¹³⁹ Ce	35,6 ± 0,7	36,9 ± 3,5	3,65
¹¹³ Sn	62,0 ± 1,2	64,6 ± 3,9	4,19
¹³⁷ Cs	30,3 ± 0,6	31,9 ± 1,9	5,28
⁶⁰ Co	47,6 ± 1,0	50,3 ± 1,4	5,67
⁸⁸ Y	103 ± 2	108 ± 3	4,85

U nastavku je iznesen kratak pregled rezultata analiza za specifične matrice meda i borosilikatnih filtera, koji su dobiveni istom metodom matematičke kalibracije, kako je pokazano u [4].

Masene koncentracije ¹³⁷Cs u medu testnih uzoraka kretale su se u rasponu od približno 0,6 - 1,7 Bq/kg. Na taj način određene vrijednosti uspoređivane su s rezultatima za mjerene uzorke meda koji su dobiveni standardnom i matematičkom kalibracijom za matrice tla slične gustoće. Razlike u dobivenim vrijednostima ne prelaze 6 %. U istom su radu prikazani i rezultati koncentracija aktivnosti ⁷Be i ²¹⁰Pb u zraku analizom borosilikatnih filtera. Provjera matematičke kalibracije napravljena je korištenjem testnog filtera pripremljenog u Laboratoriju za radioekologiju dodavanjem standarda uobičajene mješavine radionuklida poznatih aktivnosti. Dobiveni rezultati koncentracije aktivnosti (⁷Be u rasponu od približno 3,9 – 5,3 mBq/m³, te ²¹⁰Pb u rasponu od 1,4 – 2,7 mBq/m³) u

skladu su s literaturnim podacima za istraživanja provedena u geografski usporedivim područjima [6,7].

ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje je potvrdilo da su kalibracije dobivene korištenjem Canberrinog programskog paketa Genie 2000 i LabSOCS pouzdane. Mogućnost korištenja kalibracija dobivenih matematičkim putem, bez korištenja često skupih, a ponekad i nedostupnih standarda za specifične geometrije, uvelike olakšava procedure analize. Rezultati su zadovoljavajuće točnosti i preciznosti, usporedivi s rezultatima dobivenim standardnim načinom.

LITERATURA

- [1] Bronson FL. Validation of the accuracy of the LabSOCS software for mathematical efficiency calibration of Ge detectors for typical laboratory samples. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2003;255(1):137-141.
- [2] Venkataraman R, Bronson F, Atrashkevich V, Field M, Young BM. Improved detector response characterization method in ISOCS and LabSOCS. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2005;64(1):213-219.
- [3] Kaminski S, Jakobi A, Wilhelm C. Uncertainty of gamma-ray spectrometry measurement of environmental samples due to uncertainties in matrix composition, density and sample geometry. *Appl Radiat Isotopes* 2014;94:306-313.
- [4] Tucaković I, Grahek Ž, Barišić D. Application of mathematical calibrations in measurements of gamma emitting radionuclides in honey samples and borosilicate filters. *Appl Radiat Isotopes* 2017
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.02.016>
- [5] Barišić D, Bromenshenk JJ, Kezić N, Vertačnik A. The role of honey bees in environmental monitoring in Croatia. In: Devillers, J., Pham-Delegue, Minh-Ha, (Eds.) *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals* London and New York: Taylor & Francis, 2002. pp. 160-185.
- [6] Janković MM, Todorović DJ, Nikolić JD, Rajačić MM, Pantelić GK, Sarap NB, Temporal changes of beryllium-7 and lead-210 in ground level air in Serbia. *Hem. Ind.* 2014;68(1):83-88.
- [7] Hernández-Ceballos MA, Cinelli G, Ferrer MM, Tollefsen T, De Felice L, Nweke E, Tognoli PV, Vanzo S, De Cort M. A climatology of ⁷Be in surface air in European Union. *J Environ. Radioact.* 2015;141:62-70.

PRACTICAL APPLICATIONS OF MATHEMATICAL CALIBRATION IN GAMMA-SPECTROMETRY

Ivana Tucaković, Ivana Coha and Gorana Karanović
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
ivana.tucakovic@irb.hr

High resolution gamma-ray spectrometry is a nuclear analytical technique widely used for determination of radionuclides in a wide range of their activities in various kinds of samples, from nuclear waste samples to the environmental samples and foodstuffs. For a quantitative determination, this technique requires high accuracy of determining the detector efficiency which depends on the energy of emitted gamma rays, physical properties of materials and on the sample geometry. For that purpose, the calibration standards with the similar characteristics are usually used. Besides that, there is the possibility to determine the detection efficiency in a mathematical way by detector and sample setup modeling. It can significantly facilitate the procedure since it can be hard to obtain standard materials with the same characteristics as, often very specific, sample types which should be analysed.

In the Laboratory for Radioecology of the Ruđer Bošković Institute in Zagreb we use Canberra's HPGe detectors, and the LabSOCS software (Laboratory SOurceless Calibration Software) for mathematical calibrations. This software is commercially available and the method checked is widely used for mathematical calibrations of the typical environmental samples [1-3]. The precision and accuracy of this method for the samples of soil and vegetation are checked in this study by measuring the intercomparison material for the soil matrix, and the standard sample of vegetation matrix. Both tests showed very good agreement with the reference values. Moreover, the overview of the results presented in the previous work of the same Laboratory, for some specific matrices - samples of honey (to measure ^{137}Cs activity) and borosilicate filters (to determine the activity of ^7Be and ^{210}Pb in air) are presented too [4].

The study confirmed the reliability of mathematical calibrations by Genie 2000 and LabSOCS softwares, also for the unusual sample types. The results are obtained with satisfactory level of accuracy and precision.

PROBLEMATIKA TERENSKIH MJERENJA RADIOAKTIVNOSTI

Branko Petrinc¹, Tomislav Meštrović² i Marko Šoštarić¹
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

¹Jedinica za zaštitu od zračenja,

²Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju,

petrinc@imi.hr

UVOD

Jedinica za zaštitu od zračenja i Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu provode istraživanja vezana za radioaktivnost okoliša i kvalitetu zračenja dijagnostičkih uređaja kao i mjerenje osobnog vanjskog ozračenja izloženih radnika. Sve su to stručni poslovi zaštite od ionizirajućeg zračenja za koje su predviđene i akreditirane metode: mjerenje osobnog vanjskog ozračenja izloženih radnika putem osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$, mjerenje ambijentalnog ekvivalenta doze ($H^*(10)$ ili brzine ambijentalnog ekvivalenta doze ($H^*(10)/t$) prijenosnim mjerilima ionizirajućeg zračenja i provedba visokorazlučive gama spektrometrije odgovarajućeg energijskog opsega.

U radu će biti prikazani slučajevi terenskih mjerenja brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$, identifikacije radionuklida i kvantifikacija aktivnosti identificiranih radionuklida.

Cilj rada je prikazati probleme koji se događaju prilikom terenskih mjerenja radioaktivnosti kao što su odabir uređaja za pojedino mjerenje, oduzimanje pozadinskog zračenja za pojedinu lokaciju, upotreba kolimatora, itd. Posljedično, cilj rada je otvaranje rasprava između stručnjaka iz ovog područja kao i poduzimanja dodatnih mjera u smislu regulative i dodatnih uputa za mjerenja.

Napominjemo da su ovo stvarni problemi koji su primijećeni na vježbama za slučaj nuklearnog i radiološkog akcidenta, nastavi i mjerenjima prilikom dolaska plovila na nuklearni pogon u akvatorij Republike Hrvatske.

PRIKAZ SLUČAJA

Mjerenje brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$

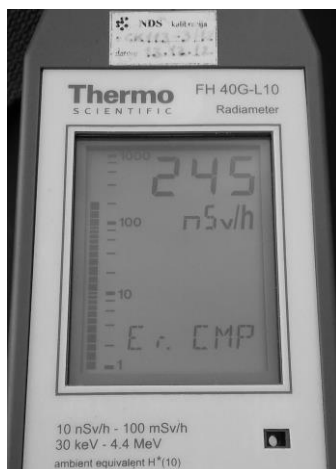
Ovo mjerenje je primarni pokazatelj povišene radioaktivnosti pojedinog područja kao i prvi korak prilikom traženja radioaktivnih izotopa. Prilikom mjerenja gore navedene veličine pokazalo se nekoliko problema. Svakako je prvi problem odabir uređaja pogodnih za mjerenje. Uređaji poput terenskih gamaspektrometara imaju i opciju mjerenja gore navedene veličine. S obzirom da im to nije primarna funkcija samim time nisu ni primjereni za tu vrstu mjerenja iz razloga što su preteški, obično nisu umjereni za mjerenje te veličine i nemaju mogućnost pohrane te vrste podataka nego samo trenutni prikaz izmjerene vrijednosti. No, ako se već koriste za svoju primarnu namjenu dobri su kao kontrolni uređaj. Iako je ovo relativno jednostavna vrsta mjerenja, bitan je odabir vrste i broja takvih uređaja za mjerenje. Moguće probleme razradit ćemo kroz nekoliko stvarnih primjera.

Primjer 1.

Za vrijeme vježbe "PRIMER 2016" održane u Reaktorskom centru Instituta Jožef Stefan na Brinju, 21. rujna 2016. godine, akcidentalni tim IMI-a, u autorskom sastavu ovog rada, htio je provjeriti sve svoje uređaje i biti što točniji u mjerenjima. Na vježbi su provedena mjerenja u približno realnim situacijama s izotopima relativno velike aktivnosti, što je dobra prilika za provjeru rada uređaja i njihove kalibracije. Mjerenja su provedena s ukupno 6 uređaja. Rezultati su bili gotovo ujednačeni (što se i očekuje od umjerenih uređaja), ali pokazala se relativna neučinkovitost našeg tima, jer nismo stizali zapisivati i upisivati toliku količinu podataka [1].

Primjer 2.

Za vrijeme mjerenja i nadzora radioaktivnosti na području Jadranskog priobalja u blizini podmornice na nuklearni pogon "RUBIS", u jednom trenutku uređaj Thermo Eberline FH 40G-L10 pokazao je vrijednosti brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$, od 200 nSv/h, što samo po sebi nije neka velika vrijednost, ali s obzirom na dan ranije izmjereno pozadinsko zračenje od 69,6 nSv/h je značajno povećanje [2]. Podatak je na kraju zanemaren jer niti jedan drugi uređaj nije detektirao nikakve promjene, a sljedeći dan (što u tom trenutku nije bio slučaj) je i navedeni uređaj pokazao da je neispravan i da se radi o grešci.



Slika 1. Izvješće o grešci na uređaju.

Prijedlozi poboljšanja

Kao što je vidljivo iz gore navedenih primjera, previše uređaja je neučinkovito, dok premali broj uređaja ostavlja mogućnost za eventualne greške nastale uslijed kvarova. S obzirom da u poslovima vezanim za zaštitu od zračenja ovaj tip uređaja nije preskup, preporučljivo je imati najmanje dva kako bi se osigurala kontrolna mjerenja. Također, poželjno je da uređaji imaju memoriju koja tijekom svih dana kada se provode mjerenja bilježe rezultate mjerenja, koji se poslije mogu statistički obraditi na računalu.

Posebnu pozornost želimo obratiti na Primjer 2. Nakon što je uređaj pokazao povišenu (pogrešnu) vrijednost brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$, od 200 nSv/h, zapitali smo se kako reagirati u slučaju da se nije radilo o grešci. Kao što smo prije rekli, izmjerena vrijednost sama po sebi nije ništa posebno, ali je značajno povećanje u odnosu na dan ranije. Svakako bi tu pomogao katalog pozadinskog zračenja u kojem bi pisale najmanja, najveća i srednja vrijednost izmjerena tijekom jedne godine, jer je ova konkretna izmjerena vrijednost mogla biti samo varijacija pozadinskog zračenja. Primjeri za to su mjerenja na lokaciji IMI u Zagrebu, kao i mjerenja provedena na 150 lokacija u Slavonskom Brodu, gdje je prosječna vrijednost iznosila 80, najmanja 50, a najveća 120 nSv/h. Takvi podaci bi sigurno puno pomogli u donošenju odluke o daljnjim djelovanjima (obavješćavanju Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, uzorkovanjima, provođenju gamaspektrometrijskih mjerenja). Svakako bi pomogla i dodatna regulativa za postupanje u konkretnom slučaju i interpretaciju rezultata.

Identifikacija i kvantifikacija radionuklida

Najčešći uređaji koji se koriste za identifikaciju i kvantifikaciju radionuklida su NaI i HPGe detektori. NaI detektori su manji, lakši, jednostavniji za korištenje i odmah spremni za upotrebu jer ih nije potrebno dodatno hladiti. Nedostaci su velika temperaturna ovisnost i mala rezolucija. HPGe detektori su teži, potrebno im je dodatno hlađenje (zbog čega se ne mogu odmah upotrijebiti), potrebno je znanje i iskustvo mjeritelja za rad s njima. Prednost im je velika energijska razlučivost, čime su gotovo savršeni za identifikaciju radionuklida, a uz kalibraciju efikasnosti i za njihovu kvantifikaciju. Vezano za uporabu obje vrste uređaja, javljaju se određeni problemi koji će biti prikazani u sljedećim primjerima.

Primjer 3.

Za vrijeme vježbe PRIMER 2016 bilo je potrebno identificirati nepoznate radionuklide. NaI uređaj Inspector 1000 bio je spreman za uporabu i identificirao određene radionuklide, ali se ispostavilo da nije identificirao sve [1]. U Primjeru 4. opisan je razlog zbog kojeg je identifikacija bila nepotpuna. HPGe detektor ORTEC Detective EX je detektirao i identificirao sve radionuklide. Glavna dva problema s njim su bila hlađenje, točnije dovođenje uređaja u stanje spremno za mjerenja, kao i prevelika osjetljivost zbog koje su identificirani i radionuklidi osnovnog zračenja.

Primjer 4.

Prilikom održavanja vježbi na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Osijeku, korišten je uređaj za identifikaciju radionuklida – Canberra Inspector 1000. Radi se o uređaju s NaI sandom. Prije održavanja vježbi uređaj je testiran i identificirao je sve školske radioaktivne izvore. Tijekom vježbi uređaj je za identifikaciju ^{137}Cs pokazivao pomak od gotovo 200 keV (465 umjesto 661,62 keV). Iako proizvođač u uputama za upotrebu napominje da je energijska kalibracija uređaja temperaturno ovisna, ipak se nije očekivao takav energijski pomak s promjenom temperature od samo nekoliko °C [3].

Prijedlog poboljšanja

Vezano za NaI detektor, iako se radi isključivo o grešci mjeritelja i očiglednoj potrebi za stalnom provjerom energijske kalibracije, problem je vrlo stvaran na terenu. U pripremi je izrada diplomskog rada samo na tu temu, tj. vezano uz promjene energijske kalibracije NaI uređaja za identifikaciju radionuklida u ovisnosti o promjeni temperature okoline mjerenja.

Što se tiče HPGe detektora, njegova efikasnost može jednako tako predstavljati problem. Naime, uređaj detektira i identificira sve radionuklide, pa tako i one koji su sastavni dio osnovnog zračenja. I u ovom dijelu bi svakako pomogao katalog osnovnog zračenja za pojedine radionuklide od interesa, kao i propisana metoda s eventualnim uvođenjem kolimatora.

ZAKLJUČAK

Terenska mjerenja zahtijevaju odabir vrste i količine uređaja koji se planiraju koristiti. Potrebno je dobro poznavati njihovu konstrukciju, kao i mogućnosti. Redovna umjeravanja su neophodna, a kao što se pokazalo, za neke uređaje su potrebna i neposredno prije mjerenja. Dodatni normirani postupci bi ujednačili mjerenja, a dodatni propisi bi olakšali interpretaciju rezultata.

LITERATURA

- [1] Institut Jožef Stefan. Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama "PRIMER 2016", Ljubljana, 2016.
- [2] Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada. Izvješće o mjerenjima i nadzoru radioaktivnosti na području jadranskog priobalja u blizini podmornice na nuklearni pogon – Nuclear submarine Class Rubis, Zagreb, 2016.
- [3] Odjel za fiziku Sveučilišta J.J. Strossmayera. u Osijeku. Izvješće s vježbi iz kolegija Radioekologija u akademskoj godini 2016./2017., Osijek, 2016.

ISSUES WITH *IN-SITU* RADIOACTIVITY MEASUREMENTS

Branko Petrinc¹, Tomislav Meštrović² and Marko Šoštarić¹

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

¹Radiation Protection Unit

²Radiation Dosimetry and Radiobiology Unit<

petrinc@imi.hr

The paper presents cases of ambient dose equivalent rate ($H^*(10)/t$) field measurements, radionuclide identification, and quantification of the identified radionuclides.

The aim of this paper is to present the problems that occur during field measurements of radioactivity, such as device selection for a particular measurement, subtracting the background radiation for a particular location, the use of a collimator, etc.

Field measurements require selecting the type and quantity of devices intended for use. One must be familiar with their construction, as well as possibilities. Regular calibrations are necessary, but as it has proven to be true, some devices also require calibration immediately prior to the measurement. Additional standardized procedures to ensure consistency across measurements and additional regulations would make the interpretation of results easier.

DIRECT METHOD FOR GROSS ALPHA BETA DETERMINATION IN WATER SAMPLES BY LSC

*Nataša Todorović¹, Jovana Nikolov¹, Ivana Stojković²,
Branislava Tenjović¹ and Nemanja Golubovac³*

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

³Oncology Institute of Vojvodina, Sremska Kamenica, Serbia

natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Gross alpha/beta measurements in drinking waters enable radiochemical composition analysis in environmental studies providing efficient screening method that indicates whether water sample contains elevated levels of any radionuclide. Gross alpha/beta measurements have been performed in laboratory for low-level radioactivity measurements in Novi Sad [1] according to ASTM D 7283-06 method [2], which recommends preparation of samples by slow evaporation. This method assumes that efficiency detection depends on dry weight of samples, which is an indication of quench level present in samples. The purpose of this paper is to present optimization of direct method for ultra fast gross alpha/beta screening test in waters. Similar studies have been conducted and reported in literature [3,4].

MATERIALS AND METHODS

All samples have been counted on Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer Wallac 1220 Quantulus, specifically designed for low level activity measurements, containing low background construction materials, an anticoincidence active and a passive shield. Pulse Shape Analyzer (PSA) circuit discriminates pulses produced by alpha and beta radiations, generating two separated spectra. The spectra were acquired by WinQ and analyzed by EasyView software. Quantulus 1220TM measures SQP(E) parameter (Spectral Quench Parameter of the External standard) - indicator of sample quench level since it presents channel corresponding to the 99th percentile of the energy distribution. This parameter decreases when spectra are being shifted towards lower channels with quench increment.

This paragraph will introduce ASTM calculation [2] modified for direct α/β method application. Efficiency detection and misclassification parameters calculations were based on the measurements of pure α and β emitters as well as the background samples - all prepared with the certain sample:scintillation cocktail volume ratio, without additional quench corrections. All samples were prepared with Ultima Gold AB scintillation cocktail in 20 ml polyethylene vials (Perkin Elmer). Background samples contained distilled water. Standard radioactive sources (^{241}Am , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) produced from Czech Metrology Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation were used for preparation of calibration samples, $A(^{241}\text{Am}) = 37.57 \text{ Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ with combined standard uncertainty of 0.2%, reference date 1/10/2013, $A(^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}) = 38.18 \text{ Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ with combined standard uncertainty of 0.5%, reference date 1/10/2013. Calibration experiments were carried out on optimal PSA discriminator values previously determined for each sample:cocktail ratio.

Efficiency detection parameters of α -particles in α -ROI ($\varepsilon_{\alpha\alpha}$) and in β -ROI ($\varepsilon_{\alpha\beta}$), as well as of β -particles in β -ROI ($\varepsilon_{\beta\beta}$) and in α -ROI ($\varepsilon_{\beta\alpha}$) were calculated for each of prepared pure α -emitter and β -emitter in different sample:cocktail ratios according to expressions:

$$\varepsilon_{\alpha\alpha} = \frac{R_{\alpha\alpha} - R_{\alpha b}}{c_{\alpha} V_{s\alpha}}, \quad \varepsilon_{\alpha\beta} = \frac{R_{\alpha\beta} - R_{\beta b}}{c_{\alpha} V_{s\alpha}}, \quad (1)$$

$R_{\alpha\alpha}$ – count rate of calibration sample (α -emitter) in α -ROI [s^{-1}];

$R_{\alpha b}$ – count rate of background sample in α -ROI [s^{-1}];

$R_{\alpha\beta}$ – count rate of calibration sample (α -emitter) in β -ROI [s^{-1}];

$R_{\beta b}$ – count rate of background sample in β -ROI [s^{-1}];

c_{α} – referential activity concentration of α -standard [$\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$];

$V_{s\alpha}$ – referential α -calibration sample volume in vial [ml];

$$\varepsilon_{\beta\beta} = \frac{R_{\beta\beta} - R_{\beta b}}{c_{\beta} V_{s\beta}}, \quad \varepsilon_{\beta\alpha} = \frac{R_{\beta\alpha} - R_{\alpha b}}{c_{\beta} V_{s\beta}}, \quad (2)$$

$R_{\beta\beta}$ – count rate of calibration sample (β -emitter) in β -ROI [s^{-1}];

$R_{\beta\alpha}$ – count rate of calibration sample (β -emitter) in α -ROI [s^{-1}];

c_{β} – referential activity concentration of β -standard [$\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$];

$V_{s\beta}$ – referential β -calibration sample volume in vial [ml] .

Misclassification factors, α -in- β ROI (X_{α}) and β -in- α ROI (X_{β}), are defined via efficiency detection parameters ($\varepsilon_{\alpha\alpha}, \varepsilon_{\alpha\beta}, \varepsilon_{\beta\beta}, \varepsilon_{\beta\alpha}$):

$$X_{\alpha} = \frac{\varepsilon_{\alpha\beta}}{\varepsilon_{\alpha\alpha}}, \quad X_{\beta} = \frac{\varepsilon_{\beta\alpha}}{\varepsilon_{\beta\beta}}. \quad (3)$$

Minimal Detectable Activity, MDA [$Bq \cdot l^{-1}$] in α -ROI and in β -ROI were evaluated for each investigated sample:cocktail ratio according to Currie expression [5], based on background count rates in α -ROI and β -ROI,

$$MDA_{\alpha} = \frac{2,71+4,65\sqrt{R_{\alpha b} t_b}}{\varepsilon_{\alpha\alpha} V t_b}, \quad MDA_{\beta} = \frac{2,71+4,65\sqrt{R_{\beta b} t_b}}{\varepsilon_{\beta\beta} V t_b}, \quad (4)$$

t_b – duration of background sample counting [s];
 V – sample volume [l].

Net count rates of analyzed samples in α -ROI, R_{α} [s^{-1}], and β -ROI, R_{β} [s^{-1}]:

$$R_{\alpha} = R_{\alpha\alpha} - R_{\alpha b}, \quad R_{\beta} = R_{\beta\beta} - R_{\beta b}, \quad (5)$$

$R_{\alpha\alpha}$ – count rate of sample in α -ROI [s^{-1}];
 t_s – duration of sample counting [s];
 $R_{\beta\beta}$ – count rate of sample in β -ROI [s^{-1}];

Finally, corrected α/β count rates - R'_{α} i R'_{β} - i.e. α/β net count rates corrected by misclassification factors were obtained as:

$$R'_{\alpha} = \frac{R_{\alpha} - R_{\beta} X_{\beta}}{1 - X_{\alpha} X_{\beta}}, \quad R'_{\beta} = \frac{R_{\beta} - R_{\alpha} X_{\alpha}}{1 - X_{\alpha} X_{\beta}}, \quad (6)$$

Gross alpha and beta activity concentration of samples, AC_{α} [$Bq \cdot l^{-1}$] and AC_{β} [$Bq \cdot l^{-1}$], respectively, were obtained according to expressions:

$$AC_{\alpha} = \frac{R'_{\alpha}}{\varepsilon_{\alpha\alpha} V}, \quad AC_{\beta} = \frac{R'_{\beta}}{\varepsilon_{\beta\beta} V}. \quad (7)$$

RESULTS AND DISCUSSION

Optimal value of PSA discriminator was investigated for different sample:cocktail ratios to ensure accurate and reliable alpha/beta spectra separation (Figure 1). Average SQP(E) values in Figure 1 indicate the manner in which quench level changes for different volume ratios. Investigation of optimal sample-to-scintillation cocktail ratio was based on the achieved detection limit and quench level of sample (Figure 2). It is clear that 11:9 is optimal sample:cocktail ratio for which MDA was determined to be $0.294(11) Bq \cdot ml^{-1}$ for gross alpha activity, and $0.405(5) Bq \cdot ml^{-1}$ for gross beta activity for $t_b = 300$ min. Obtained MDA are below the reference screening levels set to $0.5 Bq \cdot l^{-1}$ for gross alpha and $1 Bq \cdot l^{-1}$ for gross beta activity [6], which makes direct α/β method suitable for

drinking and surface waters monitoring. Method's accuracy and validity has been tested on two spiked samples with $^{241}\text{Am}/^{90}\text{Sr}$ radionuclides (Table 1). Direct α/β method gave 6-18 % overestimated activity concentrations. Further analysis of sufficient data should provide independent correction factors on obtained activity concentrations for both alpha and beta counts.

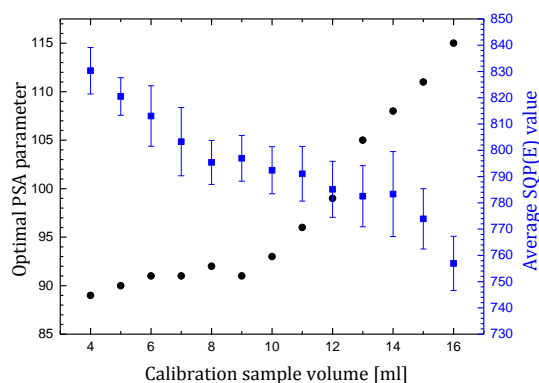


Figure 1. Optimal PSA determination for different sample:cocktail ratio.

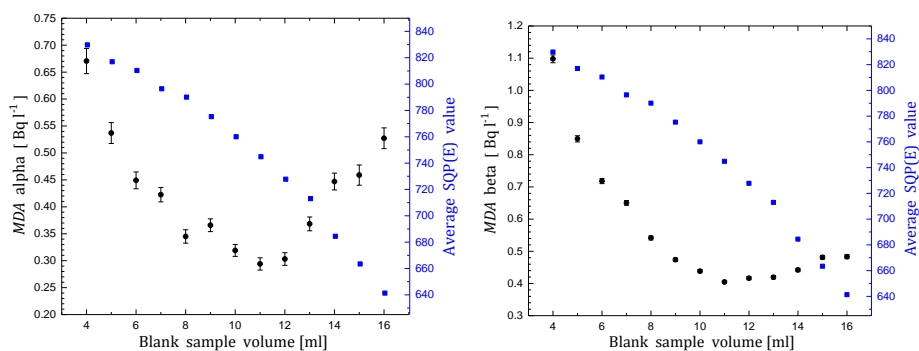


Figure 2. MDA dependence on different sample:cocktail ratio.

Table 1. Method's validation measurements.

Reference values $\text{Bq} \cdot \text{ml}^{-1}$	Obtained activities $\text{Bq} \cdot \text{ml}^{-1}$	Relative deviation δ (%)
$A(^{241}\text{Am}) = 3.415(17)$	$A_\alpha = 3.820(37)$	11.8
$A(^{90}\text{Sr}) = 3.197(6)$	$A_\beta = 3.410(36)$	6.2
$A(^{241}\text{Am}) = 3.415(17)$	$A_\alpha = 4.001(39)$	17.2
$A(^{90}\text{Sr}) = 0.6395(32)$	$A_\beta = 0.702(8)$	9.8

CONCLUSIONS

First steps towards development of rapid screening method for gross alpha/beta measurements in waters have been presented. Conventional ASTM method was modified, assuming direct mixing of sample with liquid scintillation cocktail Ultima Gold AB, without any pretreatment. Calibration experiments have been prepared with ^{241}Am and $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ aqueous standards for different sample:cocktail ratios. Optimal ratio has been established to 11:9 (sample:cocktail) with $MDA_{\alpha} = 0.294(11) \text{ Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ and $MDA_{\beta} = 0.405(5) \text{ Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ for $t_b = 300 \text{ min}$ of counting on optimal level $\text{PSA} = 96$. Presented method for direct alpha/beta measurements offers some advantages over conventional ASTM method, it is ultra fast, simple and inexpensive test for efficient screening of water samples. It leads to overestimated results up to 18 %, therefore, with thorough data analysis corrections should be provided.

FUNDING

The authors acknowledge the financial support of the Provincial Secretariat for Science and Technology Development within the project “Radioactivity in drinking water and cancer incidence in Vojvodina” No. 114-451-2405/2016-03 and Bilateral Scientific Project between Croatia and Serbia „Optimisation of methods for radioactivity measurements (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{222}Rn) in environmental samples“.

REFERENCES

- [1] Todorović N, Nikolov J, Tenjović B, Bikit I, Vesković M. Establishment of a method for measurement of gross alpha/beta activities in water from Vojvodina region. *Radiat Meas* 2012;47:1053-1059.
- [2] ASTM International. D 7283-06. Standard Test Method for Alpha- And Beta- Activity in Water By Liquid Scintillation Counting. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- [3] Sanchez-Cabeza JA, Pujol LI, Merino J, Leon L, Molero J, Vidal-Quadras A, Schell WR, Mitchell PI. Optimization and calibration of a low-background liquid scintillation counter for the simultaneous determination of alpha and beta emitters in aqueous samples. In: Noakes JE, Schonhofer F, Polach HA, eds. *Radiocarbon* 1993; pp. 43–50. *Liquid scintillation spectrometry* 1992.
- [4] Zapata-Garcia D, Llauro M, Rauret G. Establishment of a method for the rapid measurement of gross alpha and gross beta activities in sea water. *Appl Radiat Isot* 2009;67:978–981.
- [5] Curie LA. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry. *Anal Chem* 1968;40:586–593.
- [6] World Health Organisation (WHO). *Guidelines for Drinking Water Quality*. 3rd edition. Vol. 1. World Health Organization, Geneva; 2004.

DIRECT METHOD FOR GROSS ALPHA BETA DETERMINATION IN WATER SAMPLES BY LSC

Nataša Todorović¹, Jovana Nikolov¹, Ivana Stojković², Branislava Tenjović¹ and Nemanja Golubovac³

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

³Oncology Institute of Vojvodina, Sremska Kamenica, Serbia

natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

Gross alpha/beta activity determination is utilized as a very popular Liquid Scintillation Counting (LSC) technique widely used in routine monitoring of drinking, surface and waste waters providing results that indicate whether water sample contains elevated levels of any radionuclide. Monitoring of drinking waters has been carried out in laboratory for low-level radioactivity measurements in Novi Sad for a few years according to ASTM D 7283-06 method on liquid scintillation counter Quantulus 1220TM.

Development of rapid screening method for gross alpha/beta measurements has been presented in this paper. Modification of conventional ASTM method assumes direct mixing of water samples with liquid scintillation cocktail Ultima Gold AB, without any sample pretreatment. Optimization of the method involved optimal sample-to-scintillation cocktail ratio determination based on the achieved detection limit and quench level of sample. Optimal value of Pulse Shape Analysis (PSA) discriminator was investigated for different sample:cocktail ratios to ensure accurate and reliable alpha/beta spectra separation. Calibration experiments have been carried out with ²⁴¹Am and ⁹⁰Sr/⁹⁰Y aqueous standards for different sample:cocktail ratios, which included efficiency, MDA (Minimal Detectable Activity) and optimal PSA parameters determination. Method's validity has been tested on spiked samples with ²⁴¹Am/⁹⁰Sr radionuclides. Direct alpha/beta method provides overestimated results up to 18 % which should be corrected, but it offers advantages over conventional ASTM method, it is ultra fast, simple and inexpensive test for efficient screening of water samples.

COMPARISON OF TWO DIFFERENT METHODS FOR DETERMINATION OF BIOGENIC FRACTION IN LIQUID FUELS

*Jovana Nikolov¹, Ines Krajcar Bronić², Ivana Stojković³,
Nataša Todorović¹, Jadranka Barešić², Matea Krmpotić² and Milan Tomić⁴*

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

³University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

⁴University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia

jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Determination of biogenic fraction in liquid fuels by direct measurement of the ^{14}C activity concentration via liquid scintillation counting (LSC) technique has been adopted in few laboratories worldwide. This method is regarded as fast, simple, accurate and sensitive determination procedure for the mass assessment of biogenic fraction in biofuels [1,2]. There are some variations in the calibration techniques used by different laboratories that should be compared by intercomparison measurements. There is a great variety of biogenic matrices in fuels available on the market, so the calibration curves should work well for a variety of bio-components in various fossil fuels matrices.

Two laboratories participated in this study: Laboratory for low radioactivity at the Department of Physics, University of Novi Sad (UNS), Serbia, and Laboratory for low-level radioactivities of the Ruđer Bošković Institute (RBI) in Zagreb, Croatia. UNS performed a two-step method for calibration that is described in detail in [1]. A technique that uses liquids of different colours to construct modern and background calibration curves, MCC and BCC, respectively, by measuring count rates and SQP(E) values of various modern and fossil liquids has been developed at RBI [2,3]. In order to compare these two calibration methods, we used the same set of mixture with the known fractions of the biogenic component.

MATERIAL AND METHODS

Both laboratories used the same type of measuring equipment, Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer Quantulus1220 (Wallac Oy,

PerkinElmer). It has low background count rates and a possibility of measurement of quench indicating parameter SQP(E), Spectral Quench Parameter of the External Standard. The SQP(E) represents channel number of 99th percentile of spectrum generated by external standard ¹⁵²Eu stored in Quantulus. Samples with higher quench level have lower SQP(E) values, which is a consequence of spectra shifting towards lower channels in the presence of quench. SQP(E) values at UNS were measured for each sample for 10 min which is reported to be optimal measurement time for precise quench determination [1], while at RBI 1-minute measurement of SQP(E) preceded each 30-minute measurement of a sample. Spectra were acquired by WinQ software and evaluated by EasyView.

UNS used UltimaGold F scintillation cocktail and 10 ml:10 ml volume ratio of the sample:scintillation cocktail in plastic vials. Calibration of the instrument was carried out with two commercial fossil fuels with additives for winter and summer season added. FAME (Fatty Acid Methyl Esters) are the most popular and common forms of the biofuels on the global market at the moment [4]. Blends of commercial diesel with winter and summer additives were prepared with biodiesel in volume ratios 99:1 %, 97:3 %, 95:5 %, 93:7 %, 90:10 % and 0:100 % as calibration samples. “Two-step” calibration procedure was used. It demands quench correction curve (efficiency vs. SQP(E) correlation), which enables activity concentration calculation and its dependence on biogenic content in fuel, followed with activity concentration vs. biogenic content in fuel correlation [1].

RBI used 10 ml of UltimaGold F scintillation cocktail mixed with 10 ml of liquid sample in low-potassium glass vials. Several types of fossil fuel, pure benzene and benzene (used as ¹⁴C-free background for ¹⁴C dating) were used for BCC, and various types of domestic oil (vegetable, sunflower, olive, pumpkin, flax, peanut, corn sprouts), bioethanol and benzene prepared from modern samples were used for MCC construction [2]. The procedure for the unknown sample consists of: 1) measurement of the count rate and the SQP(E) value, 2) calculation of background and modern count rates corresponding to the measured SQP(E) value based on the BCC and MCC curves, respectively, and 3) the ratio of net count rates of the unknown sample and the modern net count rate at the same SQP(E) represents the fraction of the biogenic component in the liquid. The count rate of the biogenic samples was indistinguishable from the background count rate at SQP(E) values below 570 [2].

For intercomparison purpose the following mixtures were used: commercial fossil fuels mixed with FAME – biogenic component produced from sunflower oil – with the reference biomass fractions of 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 %, 99 %.

60 %, 70 %, 80 % and 90 %, and FAME produced from lard fat with the reference biomass fractions 20 %, 30 % and 50 %.

RESULTS

The obtained results of intercomparison are presented in Table 1 and plotted in Figure 1. The results obtained at RBI for samples that were used for calibration at UNS are also presented.

Table 1. Biogenic fraction of various mixtures with referent biomass fraction determined by the two methods of data evaluation at UNS and RBI.

Referent biomass fraction (%)	UNS biogenic fraction (%)	RBI biogenic fraction (%)	RBI SQP(E) (channel)
<i>Biogenic component – sunflower oil</i>			
1	- *	1.6 ± 0.4	694
3	- *	10.8 ± 1.5	603
5	- *	-**	510
20	25.8 ± 1.3	45.2 ± 1.5	622
30	39.0 ± 1.9	35.2 ± 0.7	724
40	49.9 ± 1.7	63.8 ± 1.3	667
50	51.7 ± 2.0	44.9 ± 0.7	731
60	60.4 ± 2.2	81.5 ± 1.3	678
70	78.1 ± 2.7	75.6 ± 1.0	736
80	81.4 ± 2.9	89.8 ± 0.9	754
90	85 ± 3	91.7 ± 0.7	785
<i>Biogenic component – lard fat</i>			
3 winter	- *	3.5 ± 0.4	786
5 winter	- *	6.3 ± 0.4	788
7 winter	- *	7.7 ± 0.4	789
7 summer	- *	10.9 ± 0.5	713
10 summer	- *	13.0 ± 0.5	720
20	20.7 ± 0.7	-**	600
30	33.4 ± 1.9	-**	549
50	55.8 ± 1.1	-**	553

* used for calibration

** for SQP < 600, count rate of purely biogenic liquids is not distinguishable from the count rate of fossil liquids

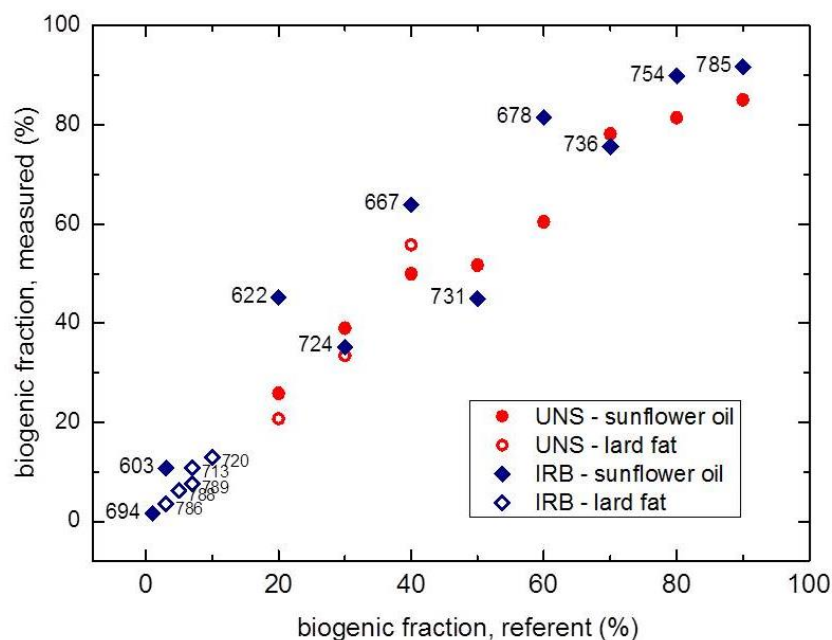


Figure 1. Correlation between the biogenic fraction measured at RBI and UNS and the referent biogenic fraction. The numbers represent the SQP(E) values of the corresponding samples measured at RBI.

By the presented comparison of the obtained results at RBI with the real biogenic component, the limitations of the RBI evaluation technique have been elucidated. The limit when the count rates of the biogenic and the fossil samples become indistinguishable has been moved from $SQP(E) < 570$ [2] to $SQP(E) < 600$. Moreover, large discrepancies were obtained for the SQP(E) values between 600 and 690 – the lower the SQP(E), the larger the relative differences between the measured and the expected biogenic fraction. The biogenic fraction can be successfully determined at $SQP(E) > 690$.

On the other hand, UNS had slight advantage in this intercomparison as they used the samples with the same matrices for calibration purposes. Two-step calibration procedure that UNS used implements quench correction and therefore offers more reliable ^{14}C determination in fuels in comparison to one-step calibration method [1]. The limitation of this method is that application of these calibration curves is limited to samples with chemically identical bio and fossil components. It can be used for precise biogenic fraction determination in examined fuel samples if the components of the fuel mixture are well known in advance.

CONCLUSION

RBI data evaluation method is based on two calibration curves, for purely biogenic and purely fossil liquids, and the calibration does not depend on the exact chemical composition of the organic liquid. The limits of the method are defined by the SQP(E) of approximately 690. Below this value the count rates of biogenic and fossil liquids become close to each other or even indistinguishable from one another.

UNS data evaluation method is very dependent on the composition of the examined fuels, so the obtained results were relatively good in this case. Future investigation should also test whether this calibration method is suitable for some other fuel matrices, for example for various types of domestic oils (vegetable, sunflower, olive, pumpkin, flax, peanut, corn sprouts) used in everyday life. This will be the next stage of this joint intercomparison in testing advantages and limitations of the RBI and UNS methods.

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support of Bilateral Scientific Project between Croatia and Serbia „Optimisation of methods for radioactivity measurements (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{222}Rn) in environmental samples“.

REFERENCES

- [1] Stojković I, Nikolov J, Tomić M, Mičić M, Todorović N. Biogenic fraction determination in fuels – Optimal parameters survey. *Fuel* 2017;191:330-338.
- [2] Krajcar Bronić I, Barešić J, Horvatinčić N, Sironić A. Determination of biogenic component in liquid fuels by the ^{14}C direct LSC method by using quenching properties of modern liquids for calibration. *Radiation Physics and Chemistry* (2016) in press. Available on-line at <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.01.041>
- [3] Krajcar Bronić I, Barešić J, Horvatinčić N, Krištof R, Kožar-Logar J. Nova tehnika određivanja udjela biogene komponente u tekućim gorivima metodom ^{14}C . U: Petrincec B, Bituh T, Milić M, Kopjar N, ur. Zbornik radova Desetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 15-17. travnja 2015; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2015. str. 360-365.
- [4] Krištof R. Quantification of biocomponents in fuels by ^{14}C , dissertation, University of Nova Gorica Graduate School, Nova Gorica, 2015.

COMPARISON OF TWO DIFFERENT METHODS FOR DETERMINATION OF BIOGENIC FRACTION IN LIQUID FUELS

*Jovana Nikolov¹, Ines Krajcar Bronić², Ivana Stojković³,
Nataša Todorović¹, Jadranka Barešić², Matea Krmpotić² and Milan Tomić⁴*

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

³University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

⁴University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia

jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

European Union's promotion of the use of sustainable and renewable resources requires use of at least 10 % of synthesized biodiesel in liquid fuels by the year 2020. This legislation has stimulated various types of petrodiesel and bio-based component blends production, and development of methods for exact, effective and reliable quantification of biodiesel content. The method for determination of the biogenic fraction in liquid fuels by direct measurement of the ^{14}C activity concentration via liquid scintillation counting (LSC) technique was developed in few laboratories worldwide. It is based on different ^{14}C signatures of the two components: the biogenic component reflects the modern atmospheric ^{14}C activity, while no ^{14}C is present in fossil fuels. The quantity of ^{14}C in the fuel is the criterion for bio-fuel presence.

A great variety of biogenic matrices in fuels results in a wide range of quenching properties of different fuel mixtures. The laboratories participating in this intercomparison study developed two different calibration techniques. The Ruder Bošković Institute data evaluation method is based on calibration curves for purely biogenic and purely fossil liquids, and does not depend on the exact chemical composition of the organic liquid. The limits of the method are defined by the SQP of app. 690 below which the count rate of biogenic and fossil liquids become indistinguishable from one another. The University of Novi Sad data evaluation method is very dependent on the composition of the examined fuels, so the obtained results in this case were relatively good. Future investigation should also test whether this calibration method is suitable for some other fuel matrices, for example for various types of domestic oil used in everyday life. Testing advantages and limitations of the two methods will continue in the future.

UTJECAJ UDALJENOSTI IZVORA OD DETEKTORA NA INTRINZIČNU UNIFORMNOST GAMA KAMERE

Ana Pavić Grego, Marin Gregov, Iva Mrčela, Martina Pajtler i
Mirjana Budanec

Klinički bolnički centar "Sestre milosrdnice", Zagreb

ana.grego@kbcsm.hr

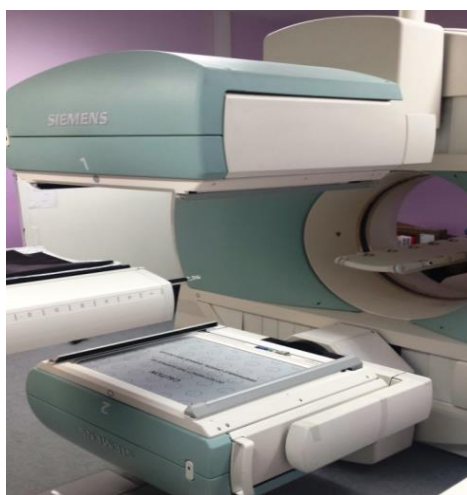
UVOD

Prema preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju (engl. *International Atomic Energy Agency* - IAEA), jedan od testova za kontrolu kvalitete opreme koja se koristi u nuklearnoj medicini jest provjera uniformnosti gama kamera [1]. Testom se provjerava odgovor detektora na uniformno zračenje, a može se provoditi s instaliranim kolimatorima (ekstrinzična uniformnost) i bez kolimatora (intrinzična uniformnost). Intrinzična uniformnost dijeli se na diferencijalnu i integralnu, a obje daju informaciju o kvaliteti slike uspoređujući vrijednosti piksela u slici [2]. Kod računanja integralne uniformnosti uspoređuje se razlika najveće i najmanje vrijednosti piksela cijele slike s njihovim zbrojem, dok se diferencijalna uniformnost temelji na najvećoj i najmanjoj razlici vrijednosti piksela za pet uzastopnih piksela duž bilo kojega retka ili stupca. Test intrinzične uniformnosti zahtijeva dužu pripremu zbog uklanjanja kolimatora i pripreme izvora, a potrebno ga je provoditi redovito, prema uputama proizvođača koji također definira udaljenost izvora od detektora te vrijednosti tolerancije za integralnu i diferencijalnu uniformnost. Izvor mora biti točkasti izvor ^{99m}Tc , aktivnosti ovisne o preporuci proizvođača i izvedbi gama kamere [3]. U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja intrinzičnih uniformnosti za korisno (engl. *Useful field of View* – UFOV) i središnje (engl. *Central Field of View* - CFOV) vidno polje za različite udaljenosti izvora zračenja od detektora, počevši od referentnog položaja korištenog prilikom redovitih provjera, a mjerenja su provedena kako bi se vidjelo da li, i u kojoj mjeri, eventualna pogreška u namještanju visine stola utječe na kvalitetu dobivenih slika.

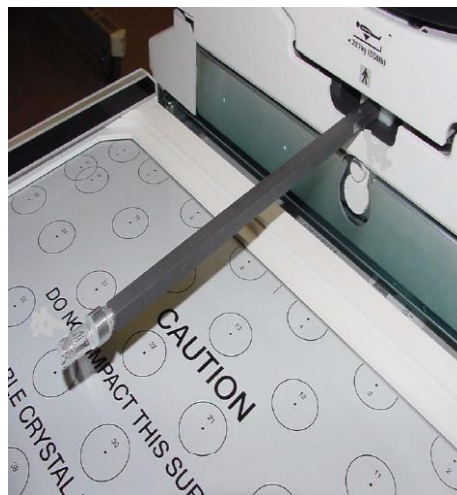
MATERIJALI I METODE

Mjerenja su provedena na gama kameri s dva detektora Symbia Truepoint SPECT/CT (Siemens Medical Solutions Inc., SAD). Kao točkasti

izvor korišten je ^{99m}Tc [4] jakosti $30\ \mu\text{Ci}$ ($1.11\ \text{MBq}$). Izvor se priprema tako da se komadić vate koji se nalazi unutar plastične kapsule oblikovane u što manju kuglicu natopi s ^{99m}Tc . Kapsula s izvorom se umeće u držač izvora (Slika 1.) te se udaljenost izvora od detektora namješta ručno ili automatski. Brzina brojanja detektora je bila u rasponu od 40-70 Kcts/s, a broj skupljenih događaja ograničen je na 10 000 Kcts. Mjerenja su prvo napravljena na referentnom položaju (polovica udaljenosti detektora), koji sustav automatski namješta prilikom periodičkog provođenja testa. Tolerancije uniformnosti za integralnu uniformnost iznose 6 % (UFOV) i 5 % (CFOV), te za diferencijalnu 3 % (UFOV) i 2,5 % (CFOV) [3]. U slučaju odstupanja od tolerancije, detektore je potrebno kalibrirati.



a)



b)

Slika 1. Eksperimentalni postav mjerenja.

a) Referentni položaj izvora; b) Izvučeni držač kapsule s točkastim izvorom

REZULTATI

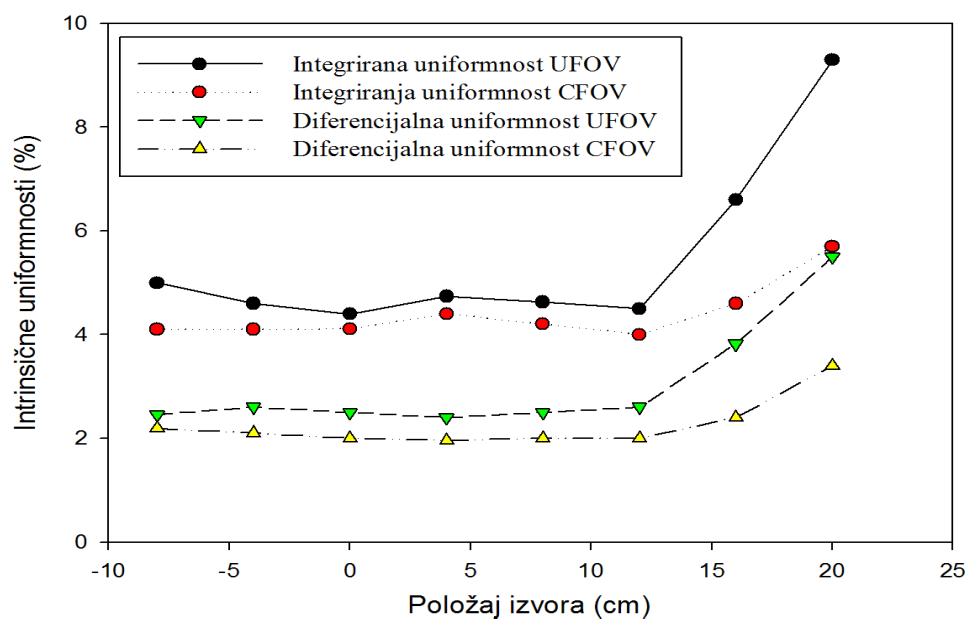
Rezultati mjerenja intrinzičnih uniformnosti na različitim udaljenostima izvora od detektora dani su u Tablicama 1. i 2., a grafički prikaz ovisnosti na Slikama 2 i 3. Uniformnosti su mjerene u rasponu 28 cm, u koracima od 4 cm. Položaj izvora koji sustav prikazuje kao -8,0 cm je referentni položaj koji se koristi u periodičkim testovima kontrole kvalitete. Položaj držača izvora na najmanjoj udaljenosti izvora od detektora na kojoj je mjerena uniformnost je 20,0 cm.

Tablica 1. Rezultati mjerenja intrinzičnih uniformnosti u ovisnosti o položaju izvora za detektor 1.

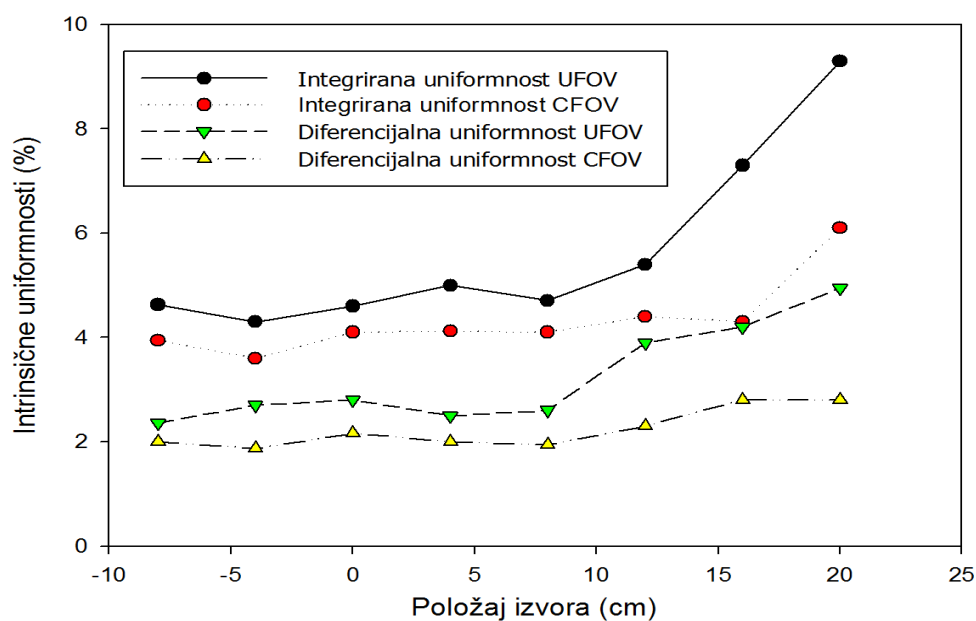
DETEKTOR 1				
Položaj izvora (cm)	int UFOV	int CFOV	dif UFOV	dif CFOV
-8,0	$5 \pm 1,0$	$4,1 \pm 0,1$	$2,46 \pm 0,04$	$2,19 \pm 0,09$
-4,0	$4,6 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,1$
0,0	$4,4 \pm 0,1$	$4,11 \pm 0,04$	$2,5 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,1$
4,0	$4,74 \pm 0,05$	$4,4 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,1$	$1,96 \pm 0,04$
8,0	$4,63 \pm 0,09$	$4,2 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,4$	$2,00 \pm 0,05$
12,0	$4,5 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,4$	$2,0 \pm 0,1$
16,0	$6,6 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,2$	$3,82 \pm 0,06$	$2,4 \pm 0,2$
20,0	$9,3 \pm 0,7$	$5,7 \pm 0,3$	$5,5 \pm 0,7$	$3,4 \pm 0,2$

Tablica 2. Rezultati mjerenja intrinzičnih uniformnosti u ovisnosti o položaju izvora za detektor 2.

DETEKTOR 2				
Položaj izvora (cm)	int UFOV	int CFOV	dif UFOV	dif CFOV
-8,0	$4,63 \pm 0,09$	$3,94 \pm 0,01$	$2,36 \pm 0,07$	$2,0 \pm 0,1$
-4,0	$4,3 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,2$	$1,87 \pm 0,02$
0,0	$4,6 \pm 0,1$	$4,1 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	$2,16 \pm 0,09$
4,0	$5,0 \pm 0,3$	$4,12 \pm 0,08$	$2,5 \pm 0,3$	$2,00 \pm 0,09$
8,0	$4,71 \pm 0,09$	$4,1 \pm 0,3$	$2,6 \pm 0,3$	$1,94 \pm 0,02$
12,0	$5,4 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,6$	$2,3 \pm 0,2$
16,0	$7,3 \pm 0,1$	$4,3 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,2$
20,0	$9,3 \pm 0,7$	$6,1 \pm 0,5$	$4,95 \pm 0,09$	$2,8 \pm 0,1$



Slika 2. Grafički prikaz ovisnosti intrinzičnih uniformnosti u ovisnosti o udaljenosti izvora od detektora za detektor 1.



Slika 3. Grafički prikaz ovisnosti intrinzičnih uniformnosti u ovisnosti o udaljenosti izvora od detektora za detektor 2.

ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati mjerenja ovisnosti intrinzičnih uniformnosti o udaljenosti izvora od detektora gama kamere Symbia Truepoint SPECT/CT. Početna aktivnost točkastog izvora bila je 30 μCi , kao i prilikom izvođenja testova kontrole kvalitete. Iz rezultata je vidljivo da se odstupanja pojedinih vrijednosti od tolerantnih javljaju tek na položaju detektora 16,0 cm za detektor 1, odnosno 12,0 cm za detektor 2. Tek na položaju detektora 20,0 cm, kada je udaljenost izvora najmanja, sve uniformnosti odstupaju od tolerancija. Iako prilikom provođenja testova kontrole kvalitete sustav automatski postavlja izvor na položaj -8,0 cm, rezultati mjerenja pokazali su da čak i u slučaju postavljanja izvora na pogrešnu visinu, kvaliteta slike (ukoliko se promatra isključivo intrinzična uniformnost) ostaje unutar granica tolerancije.

LITERATURA

- [1] Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine, IAEA Safety Reports Series No. 40
- [2] Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. Physics in Nuclear Medicine, 4th edition, Elsevier Saunders, 2012.
- [3] Operating Instructions Symbia Siemens S Series, 2012.
- [4] Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P, Hiuckman C. Radionuclide and radiation protection data handbook 2002. Radiat Prot Dosimetry 2002;98(1):1-168.

EFFECT OF SOURCE TO DETECTOR DISTANCE ON INTRINSIC UNIFORMITY OF GAMMA CAMERA

*Ana Pavić Grego, Marin Gregov, Iva Mrčela, Martina Pajtler and
Mirjana Budanec*

University Hospital Centre "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia
ana.grego@kbcsm.hr

Intrinsic uniformity test is one of the main gamma camera quality control procedures, which is periodically performed using radioactive point source, with detached collimators. The intrinsic uniformity parameters are strongly related to the quality of nuclear medicine images and have direct impact to the diagnostic value of gamma camera equipment. There are two types of intrinsic uniformity; integral and differential. Integral uniformity is based on the maximum and minimum pixel counts in the image, while differential is based on the change in counts of five consecutive pixels across all rows and columns of the image. In this paper, we measured dependence of integral and differential intrinsic uniformity to source to detector distance for both useful field of view (UFOV) and central field of view (CFOV). Measurements were performed on Symbia Truepoint SPECT/CT (Siemens) gamma camera with two detectors. As point source, we used ^{99m}Tc with activity of 30 μCi (1.11 MBq), which is used in periodical quality control procedures. Results for both detectors were compared with manufacturer's recommendation.

RADIOEKOLOGIJA

RADIOECOLOGY

ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE STRATOSPHERE

Margit Osvay

Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest,
Hungary

osvay.margit@energia.mta.hu

INTRODUCTION

The natural radiation arises from the space and from the Earth (terrestrial radiations). The dose rate at altitudes close to the sea level is in the range of 100 - 200 nSv/h. With increase of the altitude above the sea level, the cosmic part of background radiation increases. The effects of radiation to humans are of interest due to the increasing aviation altitudes and flight time. The natural radiation at high altitudes is always a mix of low (proton, electron, photon) and high Linear energy transfer - LET (heavy ions, neutrons) fields.

Recently application of thermoluminescent (TL) dosimeters has been extended to measurement of such mixed radiation fields. Passive integration TL dosimeter systems are of interest for radiation monitoring using civil aircrafts (flying altitudes are about 8 - 12 km) and on board of spacecrafts (flying altitudes are about 300 - 450 km). Limited data are available on the dose of the mixed (low and high LET) radiation field of stratospheric area about 12 - 60 km from the Earth [1-2].

In this paper an overview on cosmic radiation and on the results of two international balloon experiments using high sensitivity TL dosimeters in the stratospheric area during solar maximum of Sunspot Cycle 23 and 24 will be given.

COSMIC RADIATION

Cosmic radiation was discovered in 1912 by Victor Hess, the Austrian Noble prize winner. Since then, in addition to intensive European efforts investigation cosmic radiation exposure, further comprehensive research was conducted in the US, Japan, Canada and Australia [3]. Cosmic rays come from space and the Sun. Radiation from the space is fairly constant, the solar radiation increases during solar activity (flares). The number of cosmic rays is affected with the magnetic field of the Earth. Composition of

radiation field change with latitude and altitude and with solar activity, varying with an 11-year cycle. Number of sunspots visible on Sun waxes and wanes with approximately 11-year cycle. Data of cosmic rays represent maximum values, associated with minimum solar activity due to the reduced shielding of galactic cosmic radiation by the low magnetic field of the Sun. Since 1750 the monthly average sunspot numbers are recorded. The Sunspot Cycle 24 (2005 - 2015) represented the smallest sunspot cycle of the passed 100 years.

The charged particles of galactic and solar origin are predominantly high energy protons. They are able to penetrate the magnetic field of the Earth. Solar and galactic radiation are dominating at high altitudes, while at the sea level their contribution to the total dose of natural radiation is about 30 % [3].

METHODS

International balloon experiments were carried out in the stratosphere during solar maximum of Cycle 23 (in 2000) and Cycle 24 (in 2012). The first international balloon experiments were performed in south Italy (June 2000) and the second in north Sweden (September 2012). The platform altitudes were 38 km and 24 km, respectively. The total flight time of the first experiment was 24 h and the second one was about 4.5 h.

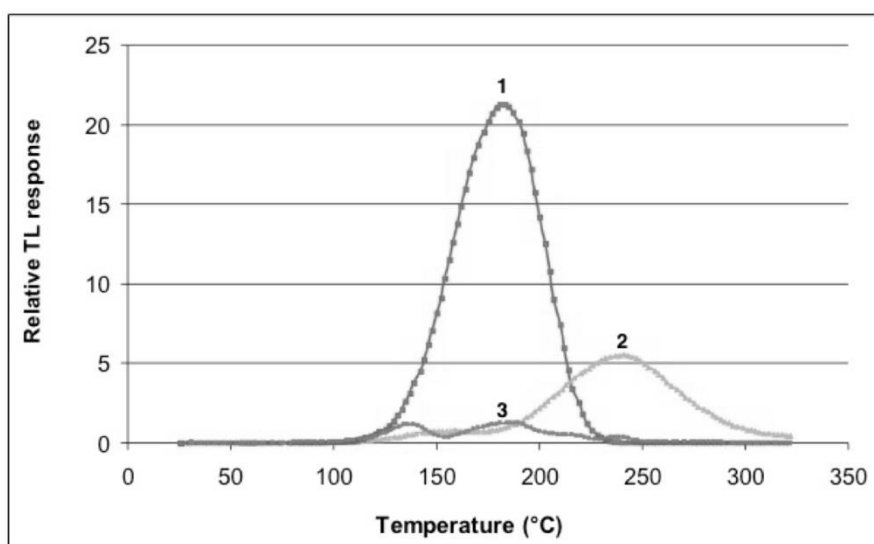


Figure 1. TL glow curves of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (1), $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$ (2) and TLD-100 (3) irradiated by gamma dose of 1.5 mGy.

Two elements high sensitivity TL dosimeter systems ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ + $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$) were used for measurements. The gamma sensitivity of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (Russia) and $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$ (Serbia) to TLD-100 were 50 and 30, respectively (Figure 1). 3 boxes of two elements TL dosimeters were used to provide transit exposure and 5 boxes to measure balloon doses. The lowest detectable dose was about 100 nGy using photon-counting Daybreak TL reader having EMI tube with quartz window [3].

RESULTS AND CONCLUSION

Results of balloon dose measurements carried out in the stratosphere during solar maximum of Solar Cycle 23 (1995 - 2005) and Solar Cycle 24 (2005-2015) and measured by $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ + $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$ were the following:

- the first flight (platform: 38 km, flight time 24 h in south Italy, in 2000): the average dose rate measured by our TL system was 2800 nGy/h (SD: 10-15 %)
- the second flight (platform: 24 km, flight time 4.5 h north Sweden, in 2012): the average dose rate measured by TL system was 8400 nGy/h (SD: 20 %).

Considering the cosmic component of natural radiation close to sea level (~30 nGy/h), the intensity of cosmic radiation was greater by two orders of magnitude in the stratosphere.

Results of dose estimates indicate that cosmic radiation during solar maximum of Cycle 24 was greater by a factor of 3 as compared to Cycle 23. Sunspot cycles may affect cosmic rays: at minimum solar activity more primary particles enter the atmosphere due to reduced magnetic shielding of the Sun. Solar activity was only one parameter of circumstances, the dose measured was higher close to the Polar region as compared to our earlier result above the Mediterranean area.

REFERENCES

- [1] Regulla D, David J. Measurement of Cosmic Radiation On Board Lufthansa Aircraft on the Major Intercontinental FlightRoutes. *Radiat Prot Dosim* 1993;48:65-72.
- [2] Reitz G. Radiation Environment in the Stratosphere. *Radiat Prot Dosim* 1993;48:5-20.
- [3] Katona T, Osvay M, Deme S, Kovács A. Environmental Dosimetry Using High-sensitivity TL Detectors. *Rad Phys Chem* 2007;76:1511-14.

ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE STRATOSPHERE

Margit Osvay

Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest,
Hungary

osvay.margit@energia.mta.hu

The natural radiation arises from the space and from the Earth (terrestrial) radiations. The dose rate at altitudes close to the sea level is in the range of 100 – 200 nSv/h. Increasing the altitude above the sea level, the cosmic part of background radiation increases. Passive integrating TL dosimetric systems are of interest for radiation monitoring using civil aircraft (flying altitudes are about 8 – 12 km) and on board spacecrafts (flying altitudes are about 300 – 450 km). Limited data are available on the dose of the mixed (low and high LET) radiation field of stratospheric area about 12 – 60 km from the Earth.

The cosmic radiation consists of two components: solar (anisotropic) and galactic (isotropic) radiations. Cosmic rays come from space are fairly constant in number, but those from the Sun increase during solar flares. Solar activity is varying within an 11 year cycle.

The paper gives an overview on cosmic radiation and on the results of two, international balloon experiments using high sensitivity thermoluminescent (TL) dosimeters in stratospheric area during solar maximum of Cycle 23 and 24.

Results of dose estimates indicate that cosmic radiation during solar maximum of Cycle 24 was greater by a factor of 3 as compared to Cycle 23. Sunspot cycles may affect cosmic rays: at minimum solar activity more primary particles enter the atmosphere due to reduced magnetic shielding of the Sun. Solar activity was only one parameter of circumstances, the dose measured was higher close to the Polar region as compared to our earlier result above the Mediterranean area.

OZON I ^7Be U ATMOSFERI

*Gordana Pehnec, Dinko Babić, Ivan Bešlić, Silvije Davila i
Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
gpehnec@imi.hr

UVOD

Kvaliteta zraka prati se u Zagrebu od 60-tih godina prošlog stoljeća. U sklopu mjerne mreže za praćenje kvalitete zraka djelatnici Jedinice za higijenu okoline Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada od 1999. godine prate koncentracije prizemnog ozona (O_3). Ozon je plin prirodno prisutan u atmosferi. U stratosferi, na visini 20 – 50 km iznad tla nalazi se oko 90 % ukupnog O_3 koji apsorbirajući elektromagnetsko zračenje u području 240-290 nm štiti zemlju od štetnog UV zračenja. Međutim, ozon se u troposferi smatra onečišćenjem, budući da kao jaki oksidans štetno djeluje na ljudsko zdravlje i okoliš. U troposferi ozon nastaje uglavnom djelovanjem sunčeva zračenja ($\lambda < 420$ nm) na dušikov dioksid, naročito u prisutnosti spojeva poput hlapivih ugljikovodika, ugljikova monoksida ili slobodnih radikala. Također, povremeno koncentracije ozona mogu biti povišene zbog stratosferskih intruzija, odnosno prodiranja stratosferskog zraka u troposferu [1,2].

Prisutnost radioaktivnih tvari u zraku prati se u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada od 1962. godine u sklopu programa praćenja stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Određuju se fisijski (umjetni, antropogeni) radionuklidi i oni prirodni, terestrijalnog i kosmogenog porijekla. Berilij, ^7Be , γ emiter, prirodni je radionuklid koji nastaje u visokim slojevima atmosfere pod utjecajem kozmičkoga zračenja.

U ovom radu analizirani su rezultati mjerenja O_3 i ^7Be tijekom dvije godine na jednom mjernom mjestu u Zagrebu s ciljem pronalaženja njihove međusobne povezanosti.

MATERIJAL I METODE

Mjerenja su provedena u razdoblju od 1. siječnja 2014. godine do 31. prosinca 2015. godine na mjernom mjestu u sjevernom, stambenom dijelu Zagreba, s umjerenom gustoćom naseljenosti i prometom.

Koncentracije ozona određivane su automatskim uređajem referentnom metodom (HRN EN 14625:2012 - Određivanje koncentracije ozona u vanjskom zraku) koja se temelji na mjerenju apsorpcije UV zračenja pri 254 nm. Metoda je akreditirana prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Koncentracije ozona pohranjene su u obliku satnih vrijednosti iz kojih su zatim izračunati mjesečni prosjeci.

Za određivanje ^7Be uzorci su sakupljani prosisavanjem velikih volumena zraka kroz celulozne filtre. Zbrojni mjesečni uzorak zraka (tri do četiri celulozna filtra) pakiran je u plastične posude definirane geometrije i stavljen na brojanje nakon 120 sati od završetka uzorkovanja. Svi uzorci zraka obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišteni su detektori: Ge(Li) detektor ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8 % na 1,33 MeV ^{60}Co ; HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co povezani s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, a osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) te Zajedničkog istraživačkog centra Europske komisije (JRC EC).

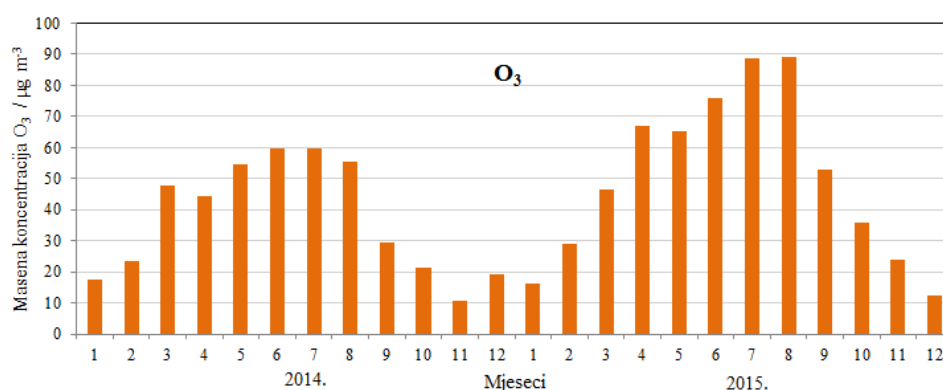
REZULTATI

U Tablici 1 prikazani su sumarni statistički podaci mjesečnih masenih koncentracija O_3 i mjesečnih koncentracija aktivnosti ^7Be tijekom 2014. i 2015. godine. Na Slici 1 prikazane su varijacije mjesečnih vrijednosti O_3 , a na Slici 2 mjesečnih vrijednosti ^7Be tijekom promatranog razdoblja.

S obzirom da je nastanak troposferskog ozona povezan s intenzitetom sunčevog zračenja uočljive su karakteristične sezonske varijacije s povišenim vrijednostima u ljetnim mjesecima. Koncentracije ozona bile su statistički značajno više tijekom 2015. godine u odnosu na 2014., a kao posljedica meteoroloških uvjeta koji su pogodovali njegovom nastanku (vruće i suho ljeto, velik broj dana bez naoblake). Međutim, srednje godišnje vrijednosti izmjerene u 2014. i 2015. nalaze se u rasponu onih iz ranijih godina [3].

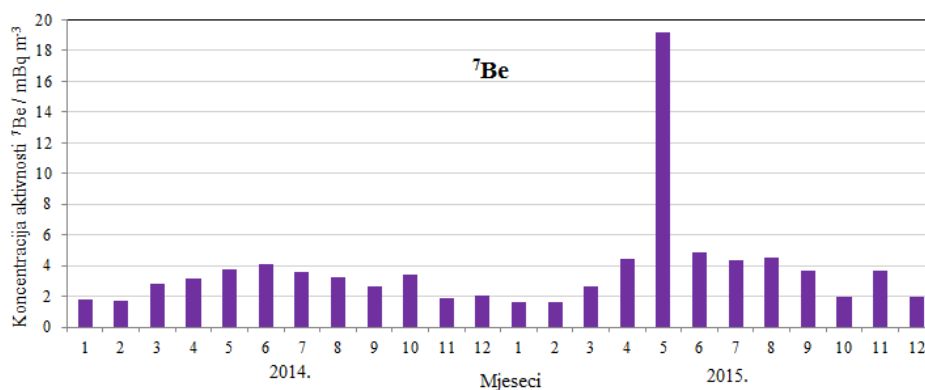
Tablica 1. Sumarni podaci mjesečnih vrijednosti O_3 i 7Be tijekom 2014. i 2015. godine na mjernom mjestu u sjevernom dijelu Zagreba.

Statistički parametar	$O_3 / \mu g m^{-3}$		$^7Be / mBq m^{-3}$	
	2014.	2015.	2014.	2015.
Minimum	10,5	12,5	1,688	1,632
Maksimum	59,9	89,3	4,107	19,160
Median	36,9	49,8	2,993	3,708
Aritmetička sredina	36,9	50,2	2,845	4,552
Standardna devijacija	18,5	27,1	0,837	4,758



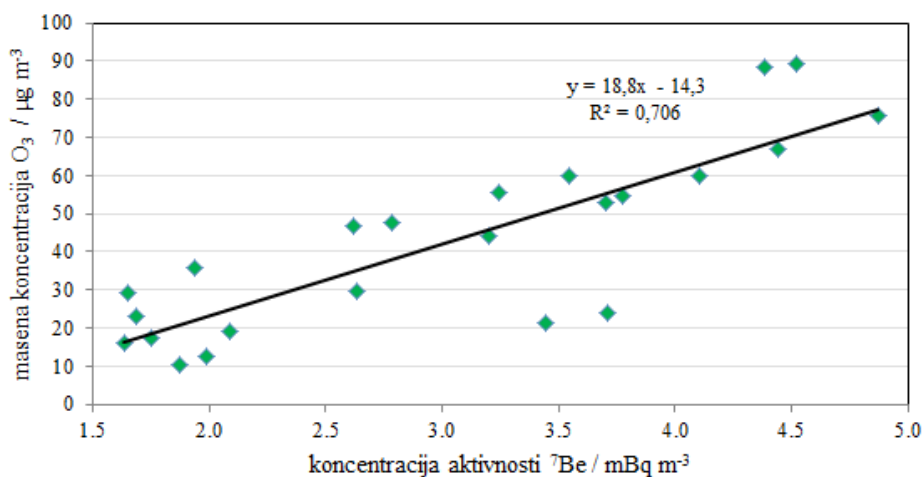
Slika 1. Varijacije srednjih mjesečnih koncentracija O_3 tijekom 2014. i 2015. godine na mjernom mjestu u sjevernom dijelu Zagreba.

Berilij također pokazuje više vrijednosti tijekom ljeta u odnosu na zimu. Povišena vrijednost 7Be u svibnju 2015. godine ukazuje da je u tom razdoblju postojala veća kozmogeno stvaranje u višim slojevima atmosfere koja je uzrokovala njegovo povećano stvaranje. Izmjerene koncentracije aktivnosti 7Be ne razlikuju se značajno od onih iz ranijih godina (posljednjih dvadeset godina u zraku Zagreba koncentracije aktivnosti 7Be kretale su se uz povremene skokove i padove oko srednje vrijednosti od $4,4 \pm 2,1 mBq m^{-3}$) [4]. Koncentracije aktivnosti 7Be bila uglavnom nepromijenjena i tijekom razdoblja 1961. - 1996. [5].



Slika 2. Varijacije srednjih mjesečnih koncentracija aktivnosti ⁷Be tijekom 2014. i 2015. godine na mjernom mjestu u sjevernom dijelu Zagreba.

Na Slici 3 prikazana je korelacija između masenih koncentracija ozona i koncentracija aktivnosti berilija. Pri izračunavanju korelacijskog koeficijenta zbog velikog odstupanja izbačena je vrijednost za svibanj 2015. godine. U promatranom dvogodišnjem razdoblju pronađena je statistički značajna linearna korelacija ($R^2 = 0,706$) između ozona i berilija.



Slika 3. Korelacija između masenih koncentracija O₃ i koncentracija aktivnosti ⁷Be u razdoblju 1. siječnja 2014. – 31. prosinca 2015.

ZAKLJUČAK

Izmjerene masene koncentracije ozona tijekom 2014. i 2015. ne odstupaju značajno od onih iz ranijih godina. Opažene su izražene sezonske varijacije s povišenim vrijednostima tijekom ljetnih mjeseci. Berilij također pokazuje više vrijednosti tijekom ljeta u odnosu na zimu. Izmjerene koncentracije aktivnosti ^7Be također se ne razlikuju značajno od onih iz prethodnih razdoblja. U promatranom dvogodišnjem razdoblju pronađena je statistički značajna linearna korelacija između ozona i berilija. Ovakav rezultat je očekivan s obzirom da sunčevo zračenje ima značajnu ulogu u njihovom nastanku. Međutim, s obzirom na različite mehanizme i mjesto nastanka ne može se zaključiti da među njima postoji uzročno posljedična veza. Analiza 24-satnih koncentracija ozona pokazala je da su u proljeće vrijednosti ozona ponekad značajno povišene i tijekom dana s naoblakom, što je vjerojatno posljedica prodiranja stratosferskog zraka u prizemni sloj atmosfere. Povišene vrijednosti koncentracija aktivnosti ^7Be u tim danima mogle bi biti dokaz ove pojave, ali bi to zahtijevalo bolju rezoluciju mjerenja (barem 24-satno uzorkovanje i mjerenje).

LITERATURA

- [1] Scheel HE, Areskoug H, Geiss H, Gomiscek B, Granby K, Haszpra L, Klasinc L, Kley D, Laurila T, Lindskog A, Roemer M, Schmitt R, Simmonds P, Solberg S, Toupance G. On the Spatial Distribution and Seasonal Variation of Lower-Troposphere Ozone over Europe. *J Atmos Chem* 1997;28:11-28.
- [2] Pavlović M, Alebić-Juretić A, Klasinc L, Trinajstić N, Turk R, Kezele N. Čovjek, okoliš i ozon. *Arh. Hig. Rada Toksikol* 1994;45:275-284.
- [3] Pehnec G, Bešlić I, Vadić V. Koncentracije ozona u zraku Zagreba u razdoblju 2003. - 2012. In: Šega K, ed. Abstracts of the 8th Croatian scientific and professional meeting "Air Protection '13"; 9-14 September 2013; Šibenik, Croatia. Zagreb: HUIZZ; 2013. pp. 56-57.
- [4] Marović G, Senčar J, Petrinc B, Babić D, Šoštarić M. Izloženost prosječnog stanovnika Hrvatske ^7Be u zraku. In: Šega K, ed. Abstracts of the 8th Croatian scientific and professional meeting "Air Protection '13"; 9-14 September 2013; Šibenik, Croatia. Zagreb: HUIZZ; 2013. pp. 134-135.
- [5] Franić Z, Cesar D, Marović G, Senčar J. Radioactive matter in the Zagreb air from 1961 to 1996. *Hrv Meteor Časopis* 1997;32:51-58.

OZONE AND ^7Be IN THE ATMOSPHERE

*Gordana Pehnec, Dinko Babić, Ivan Bešlić, Silvije Davila and
Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
gpehnec@imi.hr

Ozone (O_3) occurs naturally in the stratosphere at 20 to 50 kilometers above ground, where it absorbs electromagnetic radiation of the sun in the range 240-290 nm, protecting the earth from harmful UV radiation. However, in the troposphere it is a pollutant and as a strong oxidant may cause different harmful health effects and damage to plants and materials. Beryllium, ^7Be , a γ emitter, is a natural radionuclide formed in the upper atmosphere under the influence of cosmic radiation.

Air quality monitoring started in Zagreb in the 1960s. Employees of the Environmental Hygiene Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health have been measuring concentrations of ground-level ozone within the local network for air quality monitoring since 1999. The presence of radioactive substances in the air has been monitored by the Radiation Protection Unit of the Institute since 1962, as part of the programme of environmental radioactivity monitoring in the Republic of Croatia.

This paper presents the results of measurements of O_3 and ^7Be during 2014 and 2015 at a measuring site in the northern part of the city of Zagreb, marked by moderate traffic and population density. Ozone and beryllium both showed seasonal variations with higher values during summer.

A statistically significant linear correlation was found between monthly values of O_3 and ^7Be ($R^2 = 0.706$). Due to the fact that the intensity of solar radiation plays an important role in their formation, this result was expected. However, the mechanisms of formation are quite different and a causal relationship cannot be proven. In spring, 24-hour ozone concentrations are sometimes significantly elevated, probably as a result of stratospheric ozone intrusions. The elevated concentration activity of ^7Be could be a tracer of this phenomenon, but it would require higher resolution of measurements (at least 24-hour sampling and measurement).

AKTIVNOSTI ^{14}C U ATMOSFERI I BILJU U OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO (NEK) – ISKUSTVA NAKON 10 GODINA MONITORINGA

*Ines Krajcar Bronić¹, Borut Breznik², Aleš Volčanšek², Jadranka Barešić¹,
Damir Borković¹, Andreja Sironić¹, Nada Horvatinčić¹, Bogomil Obelić¹ i
Ivanka Lovrenčić Mikelić¹*

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

²Nuklearna elektrana Krško, Krško, Slovenija

krajcar@irb.hr

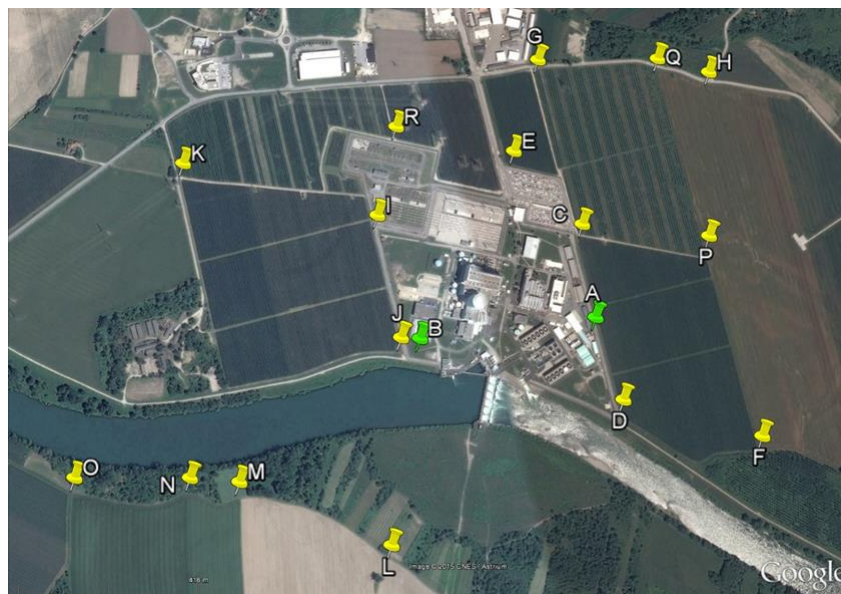
UVOD

Sustavno praćenje aktivnosti ^{14}C atmosferskog CO_2 i bioloških uzoraka (voće – uglavnom jabuke, povrće, žitarice, kukuruz) u neposrednoj okolini Nuklearne elektrane Krško (NEK) provodi se od 2006. godine s ciljem procjene mogućeg utjecaja NEK-a na razinu aktivnosti ^{14}C u okolišu te na efektivnu dozu koju primi lokalno stanovništvo putem prehrane [1-4]. Posebna je pozornost posvećena praćenju utjecaja remonta elektrane, koji se provodi svakih 18 mjeseci, na aktivnost ^{14}C u okolišu. U radu će se pokazati značajke aktivnosti ^{14}C u okolišu elektrane i neki zaključci zasnovani na dugogodišnjem iskustvu monitoringa.

MATERIJAL I METODE

Atmosferski CO_2 sakuplja se na lokacijama A i B unutar kruga NEK-a (Slika 1) apsorpcijom u zasićenoj otopini NaOH , obično u dvomjesečnim intervalima te u kraćim intervalima tijekom i neposredno nakon remonta. U laboratoriju se dobiveni Na_2CO_3 prevodi u benzen [4-6]. Biološki materijal koji integrira ^{14}C iz atmosfere tijekom relativno kratkog vegetacijskog razdoblja (plodovi jabuke, kukuruz, žitarice i slično) skuplja se na početku vegetacijskog razdoblja (lipanj ili srpanj) te ujesen (prije berbe, rujna ili listopada) na lokacijama C do Q (Slika 1). Referentni uzorci bilja sakupljaju se na kontrolnoj točki kraj Dobove, 11,2 km (zračna udaljenost) jugoistočno od NEK-a, na kojoj se ne očekuje utjecaj zračnih ispusta iz NEK-a. Biološki uzorci se nakon sušenja i karbonizacije spaljuju u struji kisika. Dobiveni CO_2 se apsorbira u smjesi Carbosorba[®]E i Permafluora[®]E. U oba slučaja aktivnost ^{14}C mjeri u tekućinskom scintilacijskom brojaču (LSC) Quantulus 1220 [4,5].

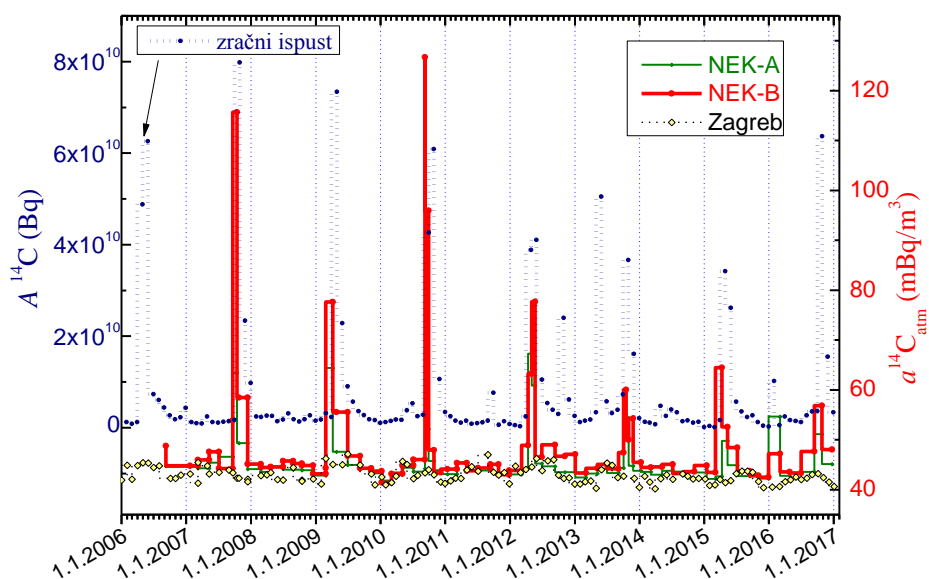
Rezultati su izraženi kao relativna specifična aktivnost ugljika ^{14}C ($a^{14}\text{C}$) u jedinicama *percent Modern Carbon* (pMC). Vrijednost $a^{14}\text{C} = 100$ pMC odgovara specifičnoj aktivnosti atmosfere nezagađene antropogenim utjecajem, koja iznosi (226 ± 12) Bq/kg ugljika, odnosno 42 mBq/m^3 zraka. U daljnjem tekstu za $a^{14}\text{C}$ koristimo izraz "aktivnost ^{14}C ".



Slika 1. Lokacije uzorkovanja za praćenje aktivnosti ^{14}C u okolici NEK-a: A, B: atmosferski CO_2 , C – Q: bilje.

REZULTATI – ATMOSFERA

Aktivnost ^{14}C ($a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$) u atmosferskom CO_2 na lokacijama A i B unutar kruga Nuklearne elektrane Krško od početka praćenja u 2006. godini do kraja 2016. prikazana je na Slici 2. Prikazane su i aktivnosti $A^{14}\text{C}$ u mjesečnim zračnim ispuštima, kao i $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$ u atmosferi u Zagrebu. Prosječna vrijednost atmosferske aktivnosti ^{14}C u Zagrebu za navedeno razdoblje iznosi $102,3 \pm 1,2$ pMC ($42,9 \pm 0,5 \text{ mBq/m}^3$). U godinama kada nema remonta (2008., 2011., 2014.) srednje i maksimalne vrijednosti unutar NEK-a ne odstupaju značajno od odgovarajućih vrijednosti u Zagrebu. U vrijeme remonta dolazi do porasta $A^{14}\text{C}$ u zračnim ispuštima te se opaža i povišenje $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$ na lokacijama B (više) i A, koje traje dva do tri mjeseca. Srednje godišnje vrijednosti na lokaciji A su tada više nego u Zagrebu, a najviše su na lokaciji B. Razlika se pogotovo primjećuje u maksimalnim vrijednostima $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$ u (dvo)mjesečnim uzorcima (Slika 2).

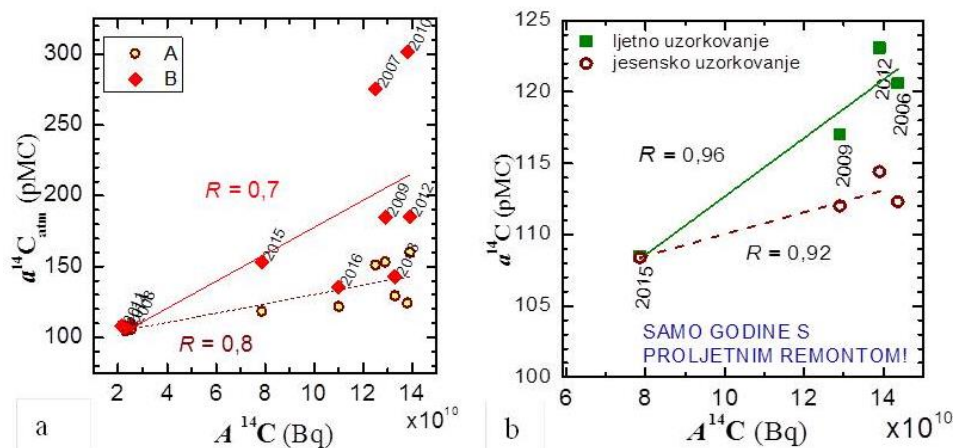


Slika 2. Aktivnost ^{14}C u atmosferskom CO_2 ($a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$) na lokacijama A i B unutar NEK-a, te u Zagrebu (desna ordinata) od 2006. do 2016. Aktivnost ^{14}C u ispustu ($A^{14}\text{C}$) dana je na lijevoj ordinati ([8] i podaci dobiveni iz NEK-a).

Ukupne godišnje aktivnosti ^{14}C u zračnim ispustima ($A^{14}\text{C}$) kretale su se oko 2×10^{10} Bq u godinama bez remonta, te od $12,5 \times 10^{10}$ Bq do $14,4 \times 10^{10}$ Bq u godinama kada se provodio remont. U 2015. godini ukupna godišnja ispuštena aktivnost $A^{14}\text{C}$ bila je znatno niža ($7,9 \times 10^{10}$ Bq), što se odrazilo na niže vrijednosti $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$ (Slika 2). Odnos između maksimalnih mjesečnih vrijednosti $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$ i ukupne godišnje $A^{14}\text{C}$ (Slika 3a) ukazuje na dobru korelaciju za godine s remontom. Koeficijent korelacije je $R = 0,7$ za lokaciju B i $R = 0,8$ za lokaciju A. Odstupanja od pravca korelacije kod viših godišnjih aktivnosti $A^{14}\text{C}$ mogu se objasniti nepodudaranjem perioda sakupljanja atmosferskog CO_2 i perioda s najvećim (dnevnim) ispustima, te raspodjelom ispusta aktivnosti tijekom godine. Može se zaključiti da najviša izmjerena aktivnost $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$ u atmosferskom CO_2 u razdoblju remonta daje grubu procjenu ispuštene aktivnosti ^{14}C tijekom remonta.

REZULTATI – BILJE

Izražavanje rezultata mjerenja aktivnosti ^{14}C kao $a^{14}\text{C}$ podrazumijeva i normalizaciju vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ u uzorku na dogovorno određenu vrijednost $\delta^{13}\text{C} = -25$ ‰. Izmjerene su vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ u 71 uzorku bilja i ustanovljeno je da treba koristiti vrijednosti $\delta^{13}\text{C} = -27$ ‰ za C3 biljke (jabuke, žitarice,



Slika 3. a) Ovisnost najviše mjesečne aktivnosti ^{14}C u atmosferskom CO_2 , $a^{14}\text{C}_{\text{atm}}$, na lokacijama A i B unutar NEK-a o ukupnoj godišnjoj aktivnosti ^{14}C u zračnim ispuštima ($A^{14}\text{C}$). b) Ovisnost srednje vrijednosti $a^{14}\text{C}$ u uzorcima bilja iz unutrašnjeg kruga u ljetnom (■) i jesenskom uzorkovanju (○) o $A^{14}\text{C}$ za godine s proljetnim remontom. R - Pearsonov koeficijent korelacije. Brojevi uz oznake na slici označavaju godine.

uljana repica) i $\delta^{13}\text{C} = -12 \text{ ‰}$ za C4 biljke (kukuruz) [9]. Pokazano je da nema značajne razlike između vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ suhih i karboniziranih uzoraka bilja, tj. da način obrade uzorka ne uzrokuje izotopnu frakcionaciju i ne utječe na izmjerenu vrijednost $a^{14}\text{C}$ [9].

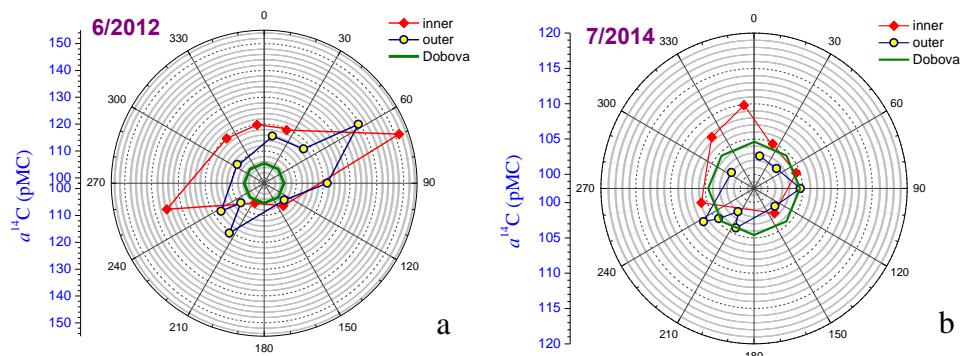
Raspodjela aktivnosti ^{14}C u bilju najbolje se vidi na tzv. polarnim dijagramima. Slika 4 prikazuje dva primjera raspodjele ^{14}C aktivnosti u bilju za proljetno uzorkovanje u godini kad je proveden proljetni remont (Slika 4a) te u godini kad prije uzorkovanja nije bilo ni proljetnog ni jesenskog remonta (Slika 4b). Uočavaju se sljedeće karakteristike:

1) Razlikuju se lokacije unutrašnjeg (C, D, E, I, J, R) i vanjskog kruga (F, G, H, K, L, M, N, O, P, Q) oko NEK, te kontrolna točka Dobova. Najviše aktivnosti ^{14}C izmjerene su u unutrašnjem krugu (prosječna vrijednost $109,7 \pm 4,1 \text{ pMC}$), a u vanjskom krugu su nešto niže ($106,4 \pm 1,9 \text{ pMC}$). Prosječna aktivnost ^{14}C u biološkom materijalu na kontrolnoj lokaciji ($103,6 \pm 1,0 \text{ pMC}$) ne razlikuje se značajno od prosječne vrijednosti atmosferske aktivnosti ^{14}C u Zagrebu u razdoblju 2006. – 2016., $102,3 \pm 1,2 \text{ pMC}$.

2) Proljetni remont znatno utječe na raspodjelu aktivnosti ^{14}C u bilju u ljetnom uzorkovanju, nešto manje u jesenskom uzorkovanju (Slika 3b i Slika 4a). U godinama u kojima nije proveden remont vrijednosti $a^{14}\text{C}$ u okolini

NEK-a ne razlikuju se značajno od onih na kontrolnoj lokaciji u Dobovi (Slika 4b). Remont u jesen, nakon završetka vegetacijskog razdoblja, ne utječe značajno na aktivnost ^{14}C u biljkama u sljedećoj godini [3].

3) Prostorna raspodjela $a^{14}\text{C}$ određena je smjerom prevladavajućih vjetrova (SW-NE). To je vidljivo za obje grupe lokacija (Slika 4a).



Slika 4. Primjeri prostorne raspodjele $a^{14}\text{C}$ u bilju (polarni dijagrami) u proljetno-ljetnom uzorkovanju u slučaju a) proljetnog remonta, b) godine bez remonta. Obratiti pozornost na različite brojčane vrijednosti $a^{14}\text{C}$.

U godinama s proljetnim remontom izmjerena je viša $a^{14}\text{C}$ u proljetno-ljetnim uzorcima, koji koriste CO_2 iz atmosfere neposredno nakon remonta, nego u jesenskim uzorcima. Uočava se dobra korelacija između ispuštene aktivnosti $A^{14}\text{C}$ i srednje vrijednosti $a^{14}\text{C}$ na unutarnjim lokacijama (Slika 3b). I ovaj odnos pokazuje da ^{14}C u zračnim ispuštima ima mjerljiv utjecaj i na biološki materijal u bliskoj okolini NEK-a. Međutim, taj utjecaj nije značajan sa stanovišta povećanja doze na stanovništvo [1-3].

ZAKLJUČAK

Praćenje aktivnosti ^{14}C u okolini NEK u razdoblju od 2006. do kraja 2016. godine pokazuje da je utjecaj ^{14}C ispuštenog u okoliš zračnim putem mjerljiv i u atmosferskom CO_2 i u biljkama koje koriste CO_2 za fotosintezu. Taj je utjecaj kratkoročan i prostorno ograničen na najbližu okolinu. Uočena je korelacija između ukupno ispuštene aktivnosti $A^{14}\text{C}$ i izmjerenih vrijednosti $a^{14}\text{C}$ u CO_2 i u bilju.

Zahvala

Praćenje aktivnosti ^{14}C u atmosferi i bilju provodi se u okviru projekta praćenja radioaktivnosti u široj okolini NEK-a.

LITERATURA

- [1] Obelić B, Krajcar Bronić I, Barešić J, Sironić A, Breznik B. ^{14}C aktivnost bioloških uzoraka i atmosferskog CO_2 u neposrednoj okolini Nuklearne elektrane Krško. U: Barišić D, Grahek Ž, Krajcar Bronić I, Miljanić S, ur. Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 29-31. svibnja 2008; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2008. str. 222-229.
- [2] Obelić B, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Sironić A, Barešić J, Rajtarić A, Breznik B, Volčanšek A. Utjecaj remonta Nuklearne elektrane Krško na aktivnost ^{14}C u atmosferi i bilju. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 13.-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Zagreb; HDZZ; 2011. str. 347-54.
- [3] Krajcar Bronić I, Obelić B, Breznik B, Volčanšek A, Barešić J, Horvatinčić N, Rajtarić A. Šest godina sustavnog praćenja ^{14}C u atmosferi i bilju u okolini Nuklearne elektrane Krško (NEK). U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10-12. travnja 2013; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2013. str. 468-474.
- [4] Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Obelić B. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. *App. Radiat. Isotopes* 2009;67:800-4.
- [5] Horvatinčić N, Barešić J, Krajcar Bronić I, Obelić B. Measurements of low ^{14}C activities in a liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory. *Radiocarbon* 2004; 46/1:105-116.
- [6] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka u obliku benzena u tekućinskom scintilacijskom brojaču. U: Garaj-Vrhovac V, Kopjar N, Miljanić S, ur. Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 18.-20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2005. str. 158-163.
- [7] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka pripremljenih metodom apsorpcije CO_2 . U: Krajcar Bronić I, Miljanić S, Obelić B, ur. Zbornik radova Petog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 9.-11. travnja 2003; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2003. str. 267-272.
- [8] Stibilj V, Svetek B, Trkov Z, Volčanšek A, Breznik B. Measurement of ^{14}C activity in exhaust air at the Krško Nuclear Power Plant. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 13.-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2011. str. 341-346.
- [9] Šturm M, Vreča P, Krajcar Bronić I. Carbon isotopic composition (^{13}C and ^{14}C activity) of plant samples in the vicinity of the Slovene nuclear power plant. *Journal of Environmental Radioactivity* 2012;110:24-29.

^{14}C ACTIVITY IN THE ATMOSPHERE AND BIOLOGICAL SAMPLES IN THE VICINITY OF THE KRŠKO NUCLEAR POWER PLANT – 10 YEARS OF EXPERIENCE

*Ines Krajcar Bronić¹, Borut Breznik², Aleš Volčanšek², Jadranka Barešić¹,
Damir Borković¹, Andreja Sironić¹, Nada Horvatinčić¹, Bogomil Obelić¹
and Ivanka Lovrenčić Mikelić¹*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenia

krajcar@irb.hr

Systematic and continuous monitoring ^{14}C activity in atmospheric CO_2 and biological samples (mostly apples, vegetable, cereals, corn) in the vicinity of the Nuclear Power Plant Krško (NEK) in Slovenia has been performed since 2006. The aim of the monitoring is to determine ^{14}C distribution in a close vicinity of the power plant and to estimate possible contribution of NEK to the effective dose of the local population through food chain. In this paper we describe some characteristics of the ^{14}C distribution in the environment of NEK.

The ^{14}C activity of atmospheric CO_2 at two locations inside the NEK area is on the average slightly higher than that in Zagreb. It depends on the ^{14}C activity ($A^{14}\text{C}$) released in air-born effluent. The influence of the ^{14}C releases has been observed also in plants. Higher ^{14}C activity in plants is most pronounced shortly after spring refuelling, when plants use atmospheric CO_2 that contains ^{14}C released from NEK. The influence of the released air-born ^{14}C activity is measurable in both atmospheric CO_2 and in plants; the higher the activity of gaseous effluent, the higher the atmospheric and plant ^{14}C activity. However, the influence is temporally and spatially limited. Average ^{14}C activity in plants at the control location Dobova does not differ from the average atmospheric ^{14}C activity in Zagreb.

It was shown earlier that the slightly increased ^{14}C activity in plants does not contribute significantly to the effective dose of the local population due to ingestion of ^{14}C . According to the experience of the whole monitoring, ^{14}C is the only released radionuclide detected in the environment of NEK (Report IJS-DP-12059).

UGLJIK U LEBDEĆIM ČESTICAMA I UKUPNA BETA AKTIVNOST U ZRAKU

*Ranka Godec, Krešimir Šega, Mirjana Čačković, Ivan Bešlić,
Gordana Marović i Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

rgodec@imi.hr

UVOD

Lebdeće čestice predstavljaju jedno od glavnih onečišćenja zraka u gradskim područjima. Sadrže veliki broj organskih i anorganskih spojeva među kojima i spojeve ugljika. Izvori lebdećih čestica kao i ugljika u njima mogu biti prirodni (požari, erupcije vulkana) i antropogeni (promet, industrija). Prema podacima iz literature lebdeće čestice imaju štetno djelovanje na okoliš, a napose na ljudsko zdravlje [1,2].

Ugljik u lebdećim česticama dijeli se na elementni (EC), organski (OC) i karbonatni ugljik (CC), koji zajedno čine ukupni ugljik (TC). Elementni ugljik (EC) nastaje nepotpunim sagorijevanjem fosilnih goriva i izravno se emitira u atmosferu, dok organski ugljik (OC) potječe iz primarnih i sekundarnih izvora. Organske čestice emitirane su ili u čestičnom obliku (primarne čestice), a mogu biti prirodnog ili antropogenog porijekla ili nastaju u atmosferi fotokemijskim reakcijama, tj. pretvorbom plinovitih onečišćujućih organskih tvari prisutnih u zraku (sekundarni OC) [1,3]. Također, slabo hlapljivi produkti oksidacije reaktivnih organskih plinova u plinskoj fazi se kondenziraju ili apsorbiraju na površinu već postojećih čestica.

Radioaktivne tvari sastavni su dio atmosfere, bilo u lebdećim česticama, bilo kao plinovi, bilo otopljene u vodi. Prisutni radionuklidi u zraku mogu biti prirodnog, bilo terestrijalnog, bilo kozmogenog podrijetla, no također mogu biti prisutni uslijed djelovanja čovjeka, npr. u atmosferu su ispuštene velike količine radionuklida fisijskog podrijetla [4]. Onečišćenje atmosfere radioaktivnom tvari samo je dio ukupnih onečišćenja zraka te time uzrokuje samo dio ukupnih potencijalno negativnih zdravstvenih učinaka [5]. Količina radioaktivnih tvari u zraku određuje se ovisno o vrsti radioaktivnosti mjerenjem ukupne beta aktivnosti zraka, ukupne alfa aktivnosti zraka, gamaspektrometrijskim mjerenjima, kao i mjerenjima pojedinih radionuklida nakon specifičnih radiokemijskih separacija [6].

MATERIJAL I METODE

Dnevni uzorci PM_{10} frakcije lebdećih čestica (lebdeće čestice aerodinamičkog promjera manjeg od 10 μm) sakupljani su na mjernoj postaji smještenoj na lokaciji Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu (IMI) tijekom razdoblja od 1. siječnja 2009. godine do 31.12.2014. godine. Mjerna postaja je smještena je u sjevernom dijelu grada u području s umjerenom gustoćom prometa i karakterizirana je kao urbana pozadinska mjerna postaja. 24-satni uzorci sakupljani su prosisavanjem malih volumena zraka ($\sim 55 m^3$) kroz filtre od kvarcnih vlakana promjera 47 mm (Pallflex Tissuequartz 2500QAT-UP, Pall Life Science), prethodno žarene na 900 °C.

Masene koncentracije PM_{10} frakcije lebdećih čestica određene su gravimetrijski sukladno propisanim normama (HRN EN 12341, 2006, HRN EN 12341, 2014). Sadržaj organskog (OC), elementnog (EC) i ukupnog ($TC = EC + OC$) ugljika u PM_{10} frakciji lebdećih čestica određen metodom termičko-optičke transmisije (TOT) uporabom uređaja Carbon aerosol analyser (Sunset Laboratory inc.) uz korištenje „Quartz“ protokola.

Na lokaciji IMI neprekidno i svakodnevno se na visini jedan metar iznad tla prosisava približno 200 m^3 zraka kroz filter papir Schneider-Poelman plavi i u tako skupljenom uzorku, najmanje 120 sati nakon uzorkovanja, mjeri se ukupna beta aktivnost u beta brojaču niskih aktivnosti (engl. *Low-level beta GM multiscouter system*; model RISØ GM-25-5, efikasnost za ^{90}Sr na filter papiru na talijevom disku je 54 %). Za mjerenja ukupne beta aktivnosti (*UBA*) provedena je kalibracija efikasnosti standardima ^{40}K (efikasnost 24 %) sukladno zahtjevima procedura za određivanje *UBA* [6].

Statistička obrada podataka provedena je korištenjem statističkog programskog paketa STATISTICA 13.0.

REZULTATI

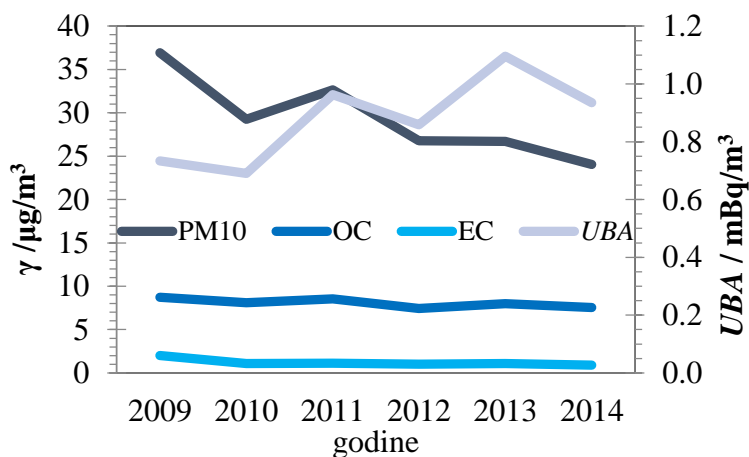
Masene koncentracije ugljika u PM_{10} frakciji lebdećih čestica ($\mu g/m^3$) i *UBA* u zraku (mBq/m^3) na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom razdoblja mjerenja (2009.-2014.) prikazane su u Tablici 1. Njihovi vremenski nizovi u razdoblju od šest godina mjerenja prikazani su na Slici 1.

Porast *UBA* u zraku 2011. godine nastupio je uslijed globalnog radioaktivnog onečišćenja zraka koji je uslijedio nakon katastrofalnog potresa uz sjeveroistočnu obalu Japana zbog kojeg je došlo do oštećenja u nuklearnom postrojenju Fukushima Daiichi [7,8].

Tablica 1. Masene koncentracije ugljika ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) u PM_{10} frakciji lebdećih čestica i UBA u zraku (mBq/m^3) na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom razdoblja mjerenja (2009.-2014.).

Onečišćujuća tvar	PM_{10} $/\mu\text{g}/\text{m}^3$	OC $/\mu\text{g}/\text{m}^3$	EC $/\mu\text{g}/\text{m}^3$	OC/EC	UBA $/\text{mBq}/\text{m}^3$
N	2178	2184	2184	2184	2180
γ	29,4	8,05	1,20	7,82	0,88
σ	20,1	6,34	0,97	4,37	0,53
γ_{\min}	1,5	0,65	0,13	0,87	0,06
γ_{1stQ}	15,7	4,1	0,6	4,5	0,51
median	24,0	5,81	0,95	6,74	0,76
γ_{3rdQ}	37,0	9,6	1,5	10,1	1,11
γ_{\max}	163,3	62,34	10,17	38,67	5,57

N – broj uzoraka; γ – srednja vrijednost; σ – standardna devijacija; γ_{\min} – minimalna vrijednost; γ_{1stQ} – prvi kvartil; γ_{3rdQ} – treći kvartil; γ_{\max} – maksimalna vrijednost; OC/EC – omjer masenih koncentracija organskog i elementnog ugljika;



Slika 1. Vremenski nizovi masenih koncentracija PM_{10} , ugljika (OC i EC) u PM_{10} , i UBA u zraku tijekom razdoblja mjerenja.

Ispitane su korelacije između masenih koncentracija ugljika u PM_{10} , PM_{10} i UBA u zraku na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom perioda mjerenja što je i prikazano u Tablici 2.

Maseni udjeli ugljika u PM_{10} na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom perioda mjerenja prikazani su na Slici 2, a na Slici 3 prikazane su sezonske varijacije masenih koncentracija EC i OC u PM_{10} , PM_{10} i UBA u zraku na istoj mjernom lokaciji tijekom istog perioda mjerenja.

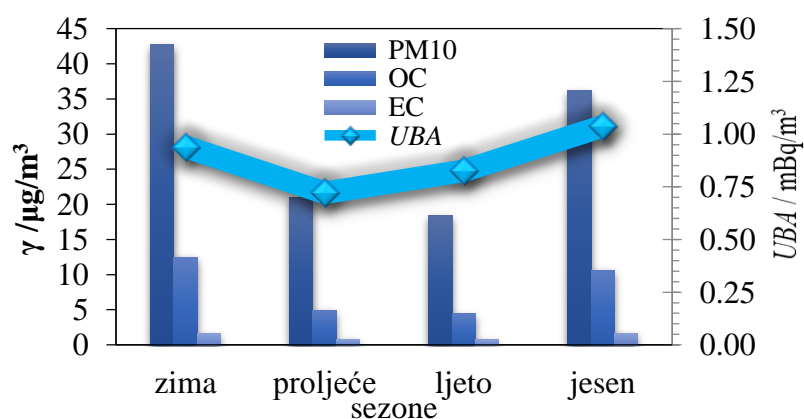
Tablica 2. Korelacije između masenih koncentracija ugljika u PM₁₀ frakciji lebdećih čestica, PM₁₀ i ukupne beta aktivnost u zraku na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom razdoblja mjerenja (2009.-2014.)

$r \geq$	0	0,20	0,40	0,60	0,80	1
$N = 2167$						
	OC / $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EC / $\mu\text{g}/\text{m}^3$	UBA / mBq/m^3			
PM ₁₀ / $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,92	0,50	0,48			
OC / $\mu\text{g}/\text{m}^3$		0,51	0,42			
EC / $\mu\text{g}/\text{m}^3$			0,09			

N – broj uzoraka; OC – organski ugljik; EC – elementni ugljik;
UBA – ukupna beta aktivnost u zraku



Slika 2. Maseni udjeli ugljika u PM₁₀ na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom perioda mjerenja (2009.-2014.).



Slika 3. Sezonske varijacije masenih koncentracija ugljika u PM₁₀ frakciji lebdećih čestica, PM₁₀ i UBA u zraku na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji tijekom perioda mjerenja (2009.-2014.).

ZAKLJUČAK

Primijećen je blago padajući trend za koncentracije PM_{10} te EC i OC u njima u periodu mjerenja od početka 2009. godine do kraja 2014. godine na urbanoj pozadinskoj mjernoj postaji. Na istoj lokaciji i u istom periodu mjerenja primijećen je blago rastući trend za ukupna beta aktivnost zraka. Povećanje ukupne beta aktivnosti slijedilo je trendove uslijed globalne kontaminacije atmosfere. Iz rezultata je vidljivo da ukupna beta aktivnosti zraka pokazuju dobro slaganje s koncentracijama lebdećih čestica kao i s koncentracijama OC u PM_{10} . Koncentracije EC u PM_{10} ne pokazuju dobro slaganje s ukupnom beta aktivnosti zraka, ali međusobno prate isti trend rasta i pada tijekom perioda mjerenja.

LITERATURA

- [1] Pöschl U. Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects. *Angew Chem Int Ed* 2005;44:7520-7540.
- [2] Kelly FJ, Fussell JC. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmos Environ* 2012;60:504-526.
- [3] Pio C, Cerqueira M, Harrison RM, Nunes T, Mirante F, Alves C, Oliveira C, de la Campa AS, Artíñano B, Matos M. OC/EC ratio observations in Europe: Re-thinking the approach for apportionment between primary and secondary organic carbon. *Atmos Environ* 2011;45:6121-6132.
- [4] Franić Z, Cesar D, Marović G, Senčar J. Radioactive matter in the Zagreb air from 1961 to 1996. *Hrv Meteor Časopis*. 1997;32:51-58.
- [5] Šega K, Bešlić I, Marović G, Senčar J. Ukupna beta aktivnost frakcije $PM_{2.5}$ lebdećih čestica u atmosferi Zagreba, U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova VIII. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 13.-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2011. str. 196-201.
- [6] U.S. Atomic Energy Commission Report, Health and Safety Laboratory. HASL-300. Procedures Manual. EML, New York:1983.
- [7] Tositti L, Brattich E, Cinelli G, Previti A, Mostacci D. Comparison of radioactivity data measured in PM_{10} aerosol samples at two elevated stations in northern Italy during the Fukushima event. *J Environ Rad* 2012; 114:105-112.
- [8] Sugiyama G, Nasstrom J, Pobanz B, Foster K, Simpson M, Vogt Ph, Aluzzi F, Homann S. Atmospheric dispersion modeling: Challenges of the Fukushima Daiichi response. *Health Phys*. 2012;102(5):493-508.

CARBON IN PARTICULATE MATTER AND TOTAL BETA ACTIVITY IN THE AIR

*Ranka Godec, Krešimir Šega, Mirjana Čačković, Ivan Bešlić,
Gordana Marović and Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
rgodec@imi.hr

Radiation Protection Unit and Environmental Hygiene Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health, as part of systematic research of the environment have been conducting measurements of the total beta activity of the air (β) and the determination of the mass concentration of PM₁₀ particulate matter fraction (aerodynamic diameter less than 10 microns) and mass carbon concentration (elemental (EC) and organic (OC) carbon) in PM₁₀ at the location of the Institute. The total beta activity (*TBA*) of the air was measured using *Low-level beta GM multicounter system; model RISØ GM-25-5*, while the mass concentrations of particulate matter were determined gravimetrically, and carbon content in them by thermal-optical transmission method. The concentrations of PM₁₀ and EC and OC in them show a slight negative trend during the period of measurements (from beginning of 2009 till the end of 2014), while the total beta activity in the air shows a slightly positive trend. The results show that the total beta activity of the air shows good agreement with concentrations of particulate matter as well as the concentrations of OC in PM₁₀. Concentrations of EC in the PM₁₀ do not agree well with the total beta activity of the air, but each follows the same trend of growth and decline during the measurement period.

UPOTREBA ED-XRF METODE ZA PRAĆENJE KVALITETE ZRAKA

Silvije Davila, Ivan Bešlić i Krešimir Šega
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
sdavila@imi.hr

UVOD

Mjerna postaja na Institutu za medicinska istraživanje i medicinu rada (IMI) je dio lokalne mreže za praćenje kvalitete zraka Grada Zagreba. Duži niz godina se na postaji prate dnevne koncentracije lebdećih čestica frakcija PM₁₀, PM_{2,5} i PM₁. Tijekom 2015. godine praćene su dnevne vrijednosti koncentracija lebdećih čestica aerodinamičkog promjera manjeg od 2,5 µm (PM_{2,5}) gravimetrijskom metodom. Nakon sakupljanja i određivanja masenih koncentracija vršena je analiza utvrđivanja građe tvari u uzorku korištenjem XRF spektrometrije. U radu će biti prikazani rezultati dobiveni XRF spektrometrijom za elemente arsen (As), željezo (Fe), kadmij (Cd) i olovo (Pb).

MATERIJAL I METODE

Na mjernom mjestu lokalne mreže Grada Zagreba smještenom na IMI-u u sjevernom dijelu Grada Zagreba, definiranom kao pozadinska gradska lokacija, sakupljani su dnevni uzorci frakcije lebdećih čestica PM_{2,5} na filtre od teflona promjera 47 mm (promjer mrlje uzorka 42 mm) iz ukupnog volumena od 55,2 m³ (protok 2,3 m³ h⁻¹) uporabom referentnog sakupljača (KleinfILTERgerät) LVS3 proizvodnje Sven Leckel Ingenieur Büro. Sakupljanje uzoraka trajalo je od podneva do podneva sljedećeg dana uz ručnu izmjenu filtera. Određivanja masenih koncentracija uzoraka provedena su sukladno standardu HRN EN 14907:2006 [1]. Filtri bez uzorka, kao i filtri s prikupljenim uzorkom kondicionirani su prije vaganja na konstantnu temperaturu od 20 ± 1 °C i relativnu vlažnost zraka od 50 ± 5 % tijekom 48 sati, vagani, ponovno kondicionirani uz iste uvjete tijekom sljedećih 24 sata te ponovno vagani.

Odvage uzoraka određivane su uporabom analitičke vage MX5 Mettler Toledo s rezolucijom od 10⁻⁶ g uz izmjerenu proširenu mjernu nesigurnost (k = 2) od 9,2 % na razini vrijednosti granične godišnje koncentracije od 25 µg m⁻³.

Određivanje koncentracija arsena, željeza, kadmija i olova iz sakupljenih uzoraka vršeno je upotrebom XRF spektrometrije. Korišten je ED-XRF (energetsko disperzijski XRF) Panalytical Epsilon 5. Vrijeme mjerenja na XRF-u za svaki uzorak je bilo 60 minuta, te je korišteno 10 meta (Al_2O_3 , CeO_2 , CsI, Ag, Mo, Zr, KBr, Ge, Fe, CaF_2). Detektor korišten u XRF je berilijev (Be) detektor sa snagom korištenja od 100 kW.

REZULTATI

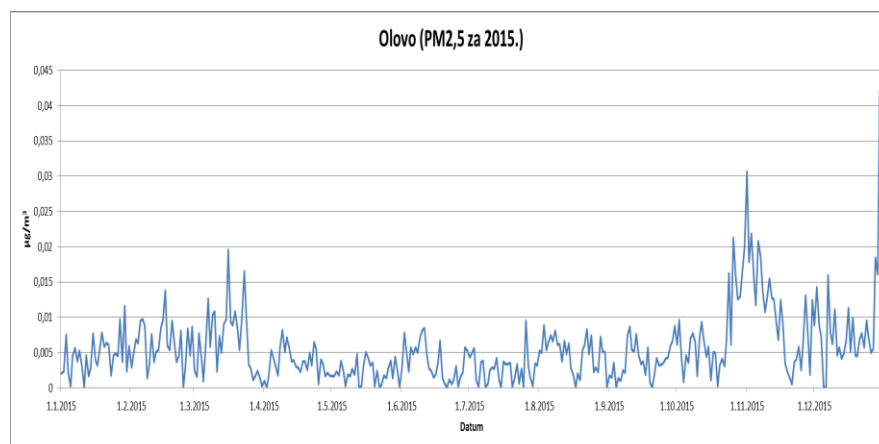
Rezultati koncentracija arsena i kadmija su prikazani u ng m^{-3} , dok su rezultati koncentracija željeza i olova prikazani u $\mu\text{g m}^{-3}$, da se mogu izmjerene koncentracije usporediti s Uredbom o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku. U Tablici 1 prikazane su srednje vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku za 2015. godinu, te najmanja i najveća izmjerena vrijednost za olovo, željezo, arsen i kadmij.

Tablica 1. Godišnja srednja vrijednost, te najveća izmjerena koncentracija onečišćujućih tvari za 2015. godinu.

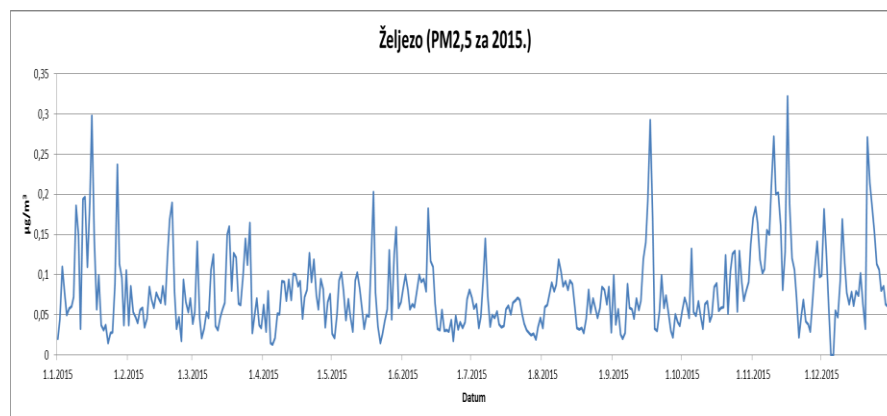
Onečišćujuća tvar	Mjerna jedinica	Godišnja srednja vrijednost	Max
Pb	$\mu\text{g m}^{-3}$	0,005	0,042
Fe	$\mu\text{g m}^{-3}$	0,079	0,322
As	ng m^{-3}	0,067	2,268
Cd	ng m^{-3}	0,484	3,561

Iako su za sve onečišćujuće tvari granične vrijednosti definirane u PM₁₀, iz rezultata se vidi da granične vrijednosti nisu prekoračene za niti jednu onečišćujuću tvar u 2015. godini [2].

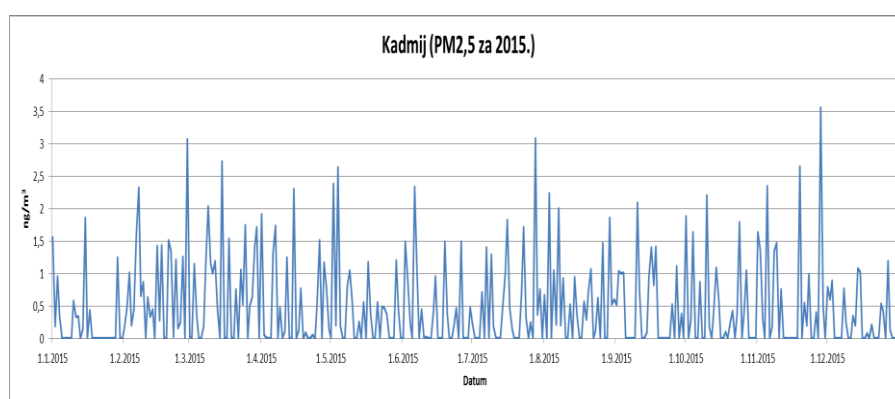
Iz vremenskog niza je vidljivo da je koncentracija olova ima blagi porast u zimskom periodu godine za razliku od ljetnog perioda godine gdje je zabilježen blagi pad koncentracija olova (Slika 1). Koncentracija željeza u zraku ima također blagi porast u zimskom periodu u odnosu na ljetni period godine (Slika 2). Razlog tome je povećanje prometa u zimskom periodu godine kao i loženje na kruta goriva također u zimskom periodu godine [3,4]. Koncentracije kadmija pokazuju kontinuirani trend kroz cijelu godinu (Slika 3), dok koncentracije arsena pokazuju određene značajne promjene tijekom kalendarske godine (Slika 4). One su češće u zimskom periodu godine nego u ljetnom periodu zbog sagorijevanja ugljena u ložištima [3].



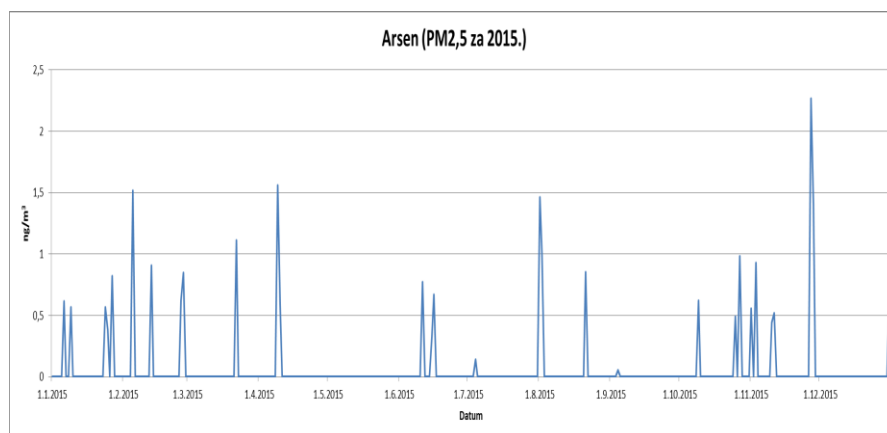
Slika 1. Vremenski niz koncentracija olova za 2015. godinu.



Slika 2. Vremenski niz koncentracija željeza za 2015. godinu.



Slika 3. Vremenski niz koncentracija kadmija za 2015. godinu.



Slika 4. Vremenski niz koncentracija arsena za 2015. godinu.

ZAKLJUČAK

Izmjerene vrijednosti koncentracija arsena, kadmija, željeza i olova ne pokazuju velike koncentracije tokom 2015. godine. Izvori onečišćenja zraka navedenim elementima su promet i zagrijavanje prostora izgaranjem krutih goriva što je vidljivo iz njihovih vremenskih nizova. Blago povećanje koncentracija onečišćujućih tvari u zraku je zabilježeno u zimskom periodu u odnosu na ljetni period godine.

LITERATURA

- [1] HRN EN 14907 2005. Kvaliteta vanjskog zraka – Standardna gravimetrijska metoda za određivanje PM2,5 masene frakcije lebdećih čestica (EN 14907:2005).
- [2] Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku. 2012. Narodne novine br. 130.
- [3] Ojanen C, Pakkanen T, Aurela M, Mäkelä T, Meriläinen J, Hillamo R, Aarnio P, Koskentalo T, Hämeikoski K, Rantanen L, Lappi M. 1998. (The size distribution of respirable particles, their composition and sources in the Metropolitan of Helsinki, Finland) Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1998:7. Helsinki. (in Finnish).
- [4] Allen JO, Mayo PR, Hughes LS, Salmon LG, Cass GR. 2001. Emissions of sizesegregated aerosols from on-road vehicles in the Caldecott Tunnel. Environmental Science & Technology 35(21): 4189-4197

USE OF ED-XRF INSTRUMENTS TO MONITOR AIR QUALITY

Silvije Davila, Ivan Bešlić and Krešimir Šega

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

sdavila@imi.hr

The measuring station at the Institute for Medical Research and Occupational Health (IMROH) is part of the local network for monitoring air quality in the city of Zagreb. For many years at the monitoring station the following daily concentration of particulate matter fractions PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ were collected. During 2015, daily concentrations of particulate matter with an aerodynamic diameter less than 2.5 microns (PM_{2.5}) by gravimetric method were monitored. After collecting and determining the mass concentration, analysis of determining the structure of the substance in a sample was carried out using XRF spectrometry. The paper presented the results obtained by XRF spectrometry for the elements arsenic (As), iron (Fe), cadmium (Cd) and lead (Pb). The measured concentrations show slightly higher values in the winter than in the summer period of 2015. Sources of contamination with arsenic, iron and lead in the air are traffic and coal burning.

RADIOISOTOPES IN GROUND SOIL *TERRA ROSSA* SAMPLES FROM THE ISLAND OF MLJET

*Marijana Nodilo¹, Silvia Dulanská², Lubomír Máteľ², Željko Grahek¹
and Delko Barišić¹*

¹Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Comenius University, Faculty of Natural Sciences, Bratislava, Slovakia
mnodilo@irb.hr

INTRODUCTION

The research includes determination of ^{90}Sr , alpha emitters (^{241}Am , $^{239,240}\text{Pu}$), naturally occurring and anthropogenic gamma emitters (^{137}Cs) in the soil sampled in the Mljet National Park (the north-west part of the island of Mljet, Croatia). *Terra rossa* is a typical soil developed at carbonate bedrock of the island. *Terra rossa* soil [1] is a mixture of insoluble red clay particulates, left after water dissolved out the carbonate from limestone and dolomite, together with wind transported and deposited particles. Quartz, chlorite, feldspar and mica dominate the mineral composition while the organic matter content varies in a wide range and generally decreases with depth. Previous studies [1,2] of ^{137}Cs and naturally occurring gamma emitters activities in the *terra rossa* soil sampled alongside Adriatic coast indicated both the nuclear weapon testing and Chernobyl contamination. The radioisotopes distribution in surface soil layers is of the interest because of the possible uptake by plants. The purpose of this research was screening of the current state and determination of target radioisotopes activity ratio in *terra rossa* soil samples. Collected data with the interpretation of obtained results should be a baseline for the estimation of the impact for the possible future radioactive contamination on this protected area.

MATERIALS AND METHODS

The sampling sites were placed on undisturbed land, covered with minimum grass and foliage, neighbouring with land used for farming, sightseeing and houses situated in north and central part of the Mljet National Park. Samples were collected during August 2015 (11 locations) with additional sampling in March 2016 (2 locations). The sampling was done from surface to 10 cm depth and the grass and foliage were removed from the samples.

The samples were prepared for the analyses by oven-drying at 105 °C during 24 h and grinding. All results refer to the dry weight and the date of the sampling. Samples for gamma spectrometry determination were prepared in Marinelli beakers and analysed on a HPGe gamma detector (ORTEC). After gamma spectrometry measurement, every sample was kept in the burnout furnace at 600 °C for 24 h.

25.0 g of each ashed sample was digested in concentrated nitric acid on a hot plate at 120 °C for 6 h, filtered, reduced on hot plate and used for determination of americium and plutonium isotopes. Known activities of ^{242}Pu and ^{243}Am were added together with deionised water, and 4 g of NaNO_2 , thus concentration of solution was 8 mol dm^{-3} . Americium and plutonium were mutually separated on column filled with Anion Exchange Resin. Americium was preconcentrated with CaC_2O_4 precipitation and separated by an additional column filled with TRU resin (both resins Eichrom Technologies). Am and Pu were co-precipitated with NdF_3 , filtered through a 0.2 μm (25 mm) pore size polysulfone membrane filter (Tuffryn HT-200, Pall Corporation) and determined by the ORTEC alpha spectrometer 576A equipped with ULTRATM ion implanted silicon detectors (active area 600 mm^2).

^{90}Sr was determined from 10.0 g of each ashed and digested sample. Known activity of ^{85}Sr and 10 mg of strontium carrier were added. Solution was diluted with deionised water to 8 mol dm^{-3} nitric acid. Strontium was separated on column filled with AnaLig Sr-01 resin (IBC Advanced Technologies) [4] and measured on a high purity germanium detector (HPGe) for ^{85}Sr recovery at 514 keV line. Strontium samples were counted repeatedly by Cherenkov counting over a two-week period to monitor the ingrowth of ^{90}Y on TRI CARB 3100 TR (PerkinElmer).

PRELIMINARY RESULTS

Activity concentrations of target radioisotopes in the studied soils are presented in Tables 1 and 2, while activity ratios of studied radioisotopes are given in Table 3. Measured activities of ^{40}K were within, whilst ^{137}Cs activities were found higher of the previously measured ranges in *terra rossa* soils in Croatia and Slovenia [1,2]. The activity ratio between ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs can be used to predict activity of these hardly detectable radioisotopes. Because of the meteorological conditions, the ^{137}Cs contamination due to the 1986 Chernobyl accident was extremely non-uniform, about 5 kBq/m^2 at the sea coast in average. On both, a large and a local scale the factors, such as particles migration, could be very different,

both laterally and vertically, resulting in significant variation of caesium activities in soil [1].

Table 1. Massic activities (Bq kg⁻¹) of anthropogenic radioisotopes in the soil samples.

Soil code	A (¹³⁷Cs) Bq kg⁻¹	A (⁹⁰Sr) Bq kg⁻¹	A (^{239,240}Pu) Bq kg⁻¹	A (²⁴¹Am) Bq kg⁻¹
1	46.3 ± 3.7	66.0 ± 5.9	0.382 ± 0.033	0.004 ± 0.001
2	18.9 ± 1.5	92.8 ± 8.3	0.505 ± 0.040	0.529 ± 0.051
3	24.7 ± 2.0	133.6 ± 11.9	0.598 ± 0.051	0.061 ± 0.007
3A	123 ± 9.8	209.9 ± 18.7	1.545 ± 0.121	0.376 ± 0.041
4	185 ± 15	330.1 ± 29.4	2.876 ± 0.268	0.286 ± 0.025
4A	140 ± 11	174.6 ± 15.5	3.912 ± 0.32+	0.429 ± 0.069
5	25.5 ± 2.0	198.7 ± 17.7	0.200 ± 0.014	0.957 ± 0.091
6	118 ± 9	204.0 ± 18.2	2.946 ± 0.279	0.243 ± 0.022
7	27.1 ± 2.2	125.5 ± 11.2	0.602 ± 0.005	0.208 ± 0.019
8	80.2 ± 6.4	186.2 ± 16.6	2.129 ± 0.190	0.566 ± 0.06
9	82.6 ± 6.6	136.6 ± 12.2	1.750 ± 0.181	0.005 ± 0.001
10	0.5 ± 0.1	131.3 ± 11.7	0.107 ± 0.008	0.007 ± 0.001
11	70.1 ± 5.6	166.4 ± 14.8	1.066 ± 0.102	0.128 ± 0.011

Table 2. Massic activities (Bq kg⁻¹) of naturally occurring radioisotopes in the soil samples.

Soil code	A (⁴⁰K) Bq kg⁻¹	A (²²⁶Ra) Bq kg⁻¹	A (²²⁸Ac) Bq kg⁻¹
1	479 ± 15	254 ± 13	77.3 ± 3.5
2	382 ± 12	187 ± 9	50.9 ± 2.9
3	565 ± 16	332 ± 13	57.7 ± 3.7
3A	595 ± 14	330 ± 13	51.4 ± 3.1
4	489 ± 17	432 ± 14	61.8 ± 3.5
4A	499 ± 18	487 ± 15	68.7 ± 3.8
5	503 ± 15	175 ± 9	63.2 ± 3.0
6	381 ± 14	116 ± 10	56.5 ± 3.2
7	538 ± 17	345 ± 12	68.3 ± 2.6
8	530 ± 16	422 ± 13	62.4 ± 3.0
9	393 ± 13	247 ± 11	62.9 ± 3.4
10	601 ± 15	203 ± 10	81.6 ± 2.4
11	449 ± 17	221 ± 13	81.1 ± 3.0

Table 3. Activity ratio of studied radioisotopes.

$^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$	0.417 ± 0.080
$^{239,240}\text{Pu} / ^{137}\text{Cs}$	0.019 ± 0.006
$^{239,240}\text{Pu} / ^{90}\text{Sr}$	0.008 ± 0.002

Correlation between the concentrations of the analysed radioisotopes was tested by the statistical analysis method. The results show correlation between measurement activities. ^{137}Cs activity concentration predicted ^{90}Sr and $^{239,240}\text{Pu}$ concentration accurately. The correlation between the ^{90}Sr and ^{137}Cs concentration in the soil samples is moderate as can be seen in Figure 1. The obtained preliminary activity ratios of studied anthropogenic radioisotopes can be explained by global fallout. The most interesting radioisotopes in global fallout are ^{90}Sr and ^{137}Cs , because they both have long half-lives (approximately 30 years).

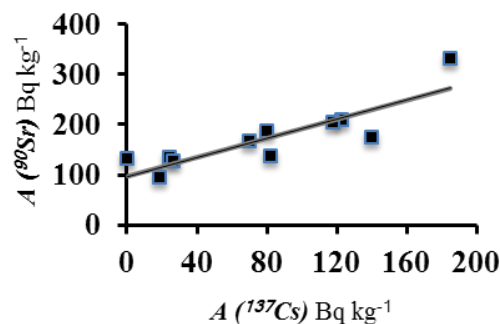


Figure 1. Correlation between activity of ^{90}Sr and activity of ^{137}Cs

Activity of ^{90}Sr was higher than ^{137}Cs for all analysed samples. The activity of ^{90}Sr ranged from $(66.0 \pm 5.9) \text{ Bq kg}^{-1}$ to $(330.1 \pm 29.1) \text{ Bq kg}^{-1}$. These values were higher than activities in soil samples collected from the exclusion zone ($< 30 \text{ km}$) of the Fukushima Daiichi NPP presented in work of Sahoo et al. [5] who obtained ^{90}Sr activity in the range from (3.0 ± 0.3) to $(23.3 \pm 1.5) \text{ Bq kg}^{-1}$.

The results show presence of the anthropogenic radioisotopes in the collected samples. The weapon testing derived deposition can be treated as generally uniform on whole Croatian territory [1]. Also, the distribution of uranium and radium in soil is very heterogeneous because of karstic terrain resulting with high variation in radon levels in soil gas [2]. The fallout anthropogenic radioisotopes are a by-product of nuclear weapons testing from 1950s to 1970s and deposition after the Chernobyl accident in 1986.

After the Chernobyl accident $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ratio was 8.5 in the fallout [6]. The preliminary $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ratio obtained in this research, suggests conclusion that determined radioisotopes mainly originated from weapon testing deposition. During IAEA mission in 1999 on testing site in Algeria $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ activity ratio of 3.2 was reported for collected samples [7]. Preliminary results indicate significantly lower $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ activity ratio in analysed *terra rossa* soils from the island of Mljet. Further examination, especially ^{137}Cs and ^{90}Sr activity ratio is required for comprehensive conclusions.

Acknowledgment

This study was supported by the KEGA 002UK-4/2016. Authors wish to thank the Ministry of Science and Education, the Republic of Croatia for M. Nodilo pay during scientific stay at Comenius University and Prof. RNDr. P. Rajec for help with analysis of gamma spectra.

REFERENCES

- [1] Barišić D, Vertačnik A, Lulić S. Caesium contamination and vertical distribution in undisturbed soils in Croatia. *J Environ Radioact* 1999;46:361-374.
- [2] Vaupotić J, Barišić D, Kobal I, Lulić S. Radioactivity and Radon potential of the *terra rossa* soil. *Radiat Meas.* 2007;42:290-297.
- [3] Masson O, Piga D, Gurriara R, D'Amico D. Impact of an exceptional Saharan dust outbreak in France: PM_{10} and artificial radionuclides concentrations in air and in dust deposit. *Atmos Environ* 2010;44:2478–2486.
- [4] Dulanská S, Remenec B, Mátel E, Galanda D, Molnár. Pre-concentration and determination of ^{90}Sr in radioactive wastes using solid phase extraction techniques. *A. J Radioanal Nucl Chem.* 2011;288:705–708.
- [5] Sahoo S, Kavasi N, Sorimachi A, et al. Strontium-90 activity concentration in soil samples from the exclusion zone of the Fukushima daiichi nuclear power plant. *Scientific Reports.* 2016;6(23925):1-10.
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience, Report of the Chern Forum Expert Group “Environment”. Radiological assessment reports series. Vienna: IAEA; 2006.
- [7] International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiological Conditions at the Former French Nuclear Test Sites in Algeria: Preliminary Assessment and Recommendations. Radiological ant reports series. Vienna: IAEA; 2005.

RADIOISOTOPES IN GROUND SOIL *TERRA ROSSA* SAMPLES FROM THE ISLAND OF MLJET

*Marijana Nodilo¹, Silvia Dulanská², Lubomír Máteľ², Željko Grahek¹
and Delko Barišić¹*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Comenius University, Faculty of Natural Sciences, Bratislava, Slovakia
mnodilo@irb.hr

The research purpose is screening of the current state, determination of target radioisotopes activity (both naturally occurring and long-lived anthropogenic radioisotopes: strontium radioisotope ⁹⁰Sr, alpha emitters (²⁴¹Am, ²³⁸Pu, ^{239,240}Pu), gamma emitters like ¹³⁷Cs) in *terra rossa* soils sampled in the Mljet National Park (the north-west part of the south Adriatic island of Mljet, the Republic of Croatia).

Results show presence of the anthropogenic radioisotopes in the collected soil samples, most probably as a result of nuclear weapons testing in the atmosphere in the 60s (Sahara Desert) and the Chernobyl accident in 1986. Gamma emitters are determined using a HPGe gamma detector (ORTEC). Plutonium was separated on column filled with Anion Exchange Resin. Americium was preconcentrated from other elements with precipitation on CaC₂O₄ and then separated on additional column charged with TRU resin (both resins Eichrom Technologies). The americium and plutonium sources were determined with alpha spectrometer (ORTEC). Strontium was separated on column filled with AnaLig Sr-01 resin (IBC Advanced Technologies) and measured on TRI CARB 3100 TR counter.

Correlations between concentrations of the analysed radioisotopes were tested by the statistical analysis method. The results show moderate correlation. The activity ratios of studied anthropogenic radioisotopes can be explained by global fallout. Collected data with the interpretation of the obtained results can be used as a foundation for the estimation of the future impact of radioactive contamination on this protected area.

INTERCOMPARISON OF DIFFERENT METHODOLOGIES FOR DETERMINATION OF RADIOSTRONTIUM IN SOIL SAMPLES

*Nataša B. Sarap¹, Marijana Nodilo², Marko Štrok³, Marija M. Janković¹
and Željko Grahek²*

¹University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade,
Serbia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

³Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

natasas@vin.bg.ac.rs

INTRODUCTION

Artificial radionuclide ^{90}Sr is present in the environment on a global scale from atmospheric nuclear explosions as well as from nuclear accidents, nuclear waste discharges and fallout. ^{90}Sr presence in the environment of Europe is significant after the accident at the Chernobyl NPP. Detailed radioecological investigations are carried out since then, particularly because of ^{90}Sr high mobility in the environment, especially in the terrestrial ecosystems [1]. ^{90}Sr as long-lived pure β -emitter belongs to the group of the extremely toxic radionuclides and this isotope is treated as one of the most hazardous contaminants in the environment and dangerous products of nuclear fission for human beings [2]. Consequently, ^{90}Sr has been a principal subject for environmental monitoring and radioecological research.

The determination of ^{90}Sr in environmental samples can be performed by several different methods [1,3-9]. One of the most widely used methods is the method where radiostrontium in environmental samples is separated from the other alkaline earths in an EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) medium [3]. The classical analysis of radiostrontium involves the use of fuming nitric acid and a number of precipitations and filtrations, aiming at isolating strontium [4]. Other methods for the determination of ^{90}Sr include: separation of $^{89,90}\text{Sr}$ and ^{90}Y and determination by liquid scintillation counting [5] extraction of Sr with crown ethers [6,7], solvent extraction of ^{90}Y with tributyl phosphate (TBP) [8] and ion-exchange separation of Ca and Sr and measurement of ^{90}Sr by beta counting [9].

The purpose of this paper was to compare three different methodologies for the determination of ^{90}Sr activity in soil samples and the interpretation of obtained results.

MATERIAL AND METHOD

In order to measure the content of ^{90}Sr , an agricultural soil samples were collected at two experimental fields in Belgrade and Novi Sad. The preparation of soil samples involves the following steps: removing the vegetation from sample, drying at $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ during 24 h and sieving through a stainless steel sieve (screen size $250\text{ }\mu\text{m}$) followed by hand grinding to powder in laboratory mortar. These samples were then used for determination of ^{90}Sr with three different methods.

The validated radiochemical analytical method - *Method I* [10] is based on the radiochemical separation of ^{90}Y from the sample. Principle of the method involves digestion of about 100 g of soil sample, previously mineralized at $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 6 M hydrochloric acid, filtration and evaporation of the filtrate to dryness, again dissolution in 6 M hydrochloric acid and boiling distilled water and precipitation with ammonium hydroxide. This is followed by the precipitation of carbonate, dissolution with 6 M hydrochloric acid and addition of aluminium as the collector of ^{90}Y . After 18 days the radioactive equilibrium between ^{90}Sr and its daughter radionuclide ^{90}Y is reached, and ^{90}Y is separated together with collector in the form of aluminium hydroxide, which is converted to aluminium oxide. The ^{90}Sr activity was determined by direct measurement of the activity of ^{90}Y using α/β low-level proportional counter Thermo Eberline FHT 770T. The counting time was 3600 s.

The radiochemical analytical method based on using ion-exchange resins - *Method II* [11] enables separation of strontium from alkali, alkaline earth and transition elements. Soil sample (50 g) is mixed with Sr carrier, deionised water and the strong cation exchanger Amberlite IR-120 in NO_3^- form. After 4 h stirring the exchanger is separated from soil on a $250\text{ }\mu\text{m}$ sieve by washing with deionised water. Bound cations are eluted from exchanger with 5 M nitric acid, volume had been reduced by heating almost to dryness and mixed with 0.25 M nitric acid in methanol solution. Sample solution was passed sequentially through two columns filled with the strong base anion exchanger Amberlite CG-400. Strontium is eluted by passing of deionised water, scavenged from alpha and beta emitters after second column by following iron (III) hydroxide and barium chromate precipitation; and precipitated as strontium carbonate by saturated solution of ammonium

carbonate. Prepared precipitate attains the radiochemical equilibrium and is counted on a proportional counter with Si detector (α/β counter iMatic, Low Level Counting System, Canberra). The counting time was 12000 s.

The radiochemical analytical method with fuming nitric acid - *Method III* is based on digestion of 120 g of soil sample in concentrated HCl after addition of Sr carrier and deionised water for 12 h. After digestion sample is filtered and to the filtrate citric acid is added until pH 3-4 is achieved. This solution is then transferred to the cation exchange column and Sr and Ca are eluted with citric acid at pH 9-10. Then the eluate is heated, oxalic acid is added and pH adjusted to 5-6 with NaOH to precipitate Sr and Ca oxalate. This is then centrifuged and dissolved with fuming nitric acid to precipitate strontium nitrate and separate Sr from Ca. Strontium nitrate is further purified by precipitation of iron hydroxides and barium chromate and finally precipitated in the form of strontium carbonate. This is then transferred to the counting planchet and measured using Multi-low level counter Eberline FHT 770 T. The counting time was 14400 s.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of ^{90}Sr specific activity in soil samples obtained by three different methods are presented in Table 1. The measured values are expressed with expanded measurement uncertainty that was calculated at the 95 % level of confidence ($k = 2$).

Table 1. ^{90}Sr in soil samples.

Sample	^{90}Sr specific activity (Bq kg^{-1})		
	Method I	Method II	Method III
1	1.11 ± 0.19	0.98 ± 0.21	1.12 ± 0.18
2	1.21 ± 0.22	1.24 ± 0.25	1.25 ± 0.22
3	2.09 ± 0.42	1.86 ± 0.29	2.11 ± 0.26
4	1.77 ± 0.37	1.75 ± 0.26	2.06 ± 0.24

The evaluation of results was performed by statistical analysis of single results. Based on the calculation of evaluation parameters [12], the comparison of methods was estimated. The applied statistical parameters are given in Table 2. The obtained results need to be transformed to statistical data because of their easier interpretation and comparison. The aim of data

transformation is measuring of deviation of the results obtained by different methods, from reference value. For purpose of this study for reference value was chosen the medium value of three results for the each sample, also for the reference uncertainty value.

Table 2. The evaluation of obtained results (A – acceptable).

Sample	Method	z-score	u-test	Accuracy	Bias _{rel} (%)	Precision	Final score
1	I	0.21	0.15	A	3.74	A	A
	II	-0.43	0.32	A	-8.41	A	A
	III	0.28	0.19	A	4.67	A	A
2	I	-0.09	0.06	A	-1.63	A	A
	II	0.04	0.03	A	0.81	A	A
	III	0.09	0.06	A	1.63	A	A
3	I	0.17	0.13	A	3.46	A	A
	II	-0.55	0.37	A	-7.92	A	A
	III	0.35	0.22	A	4.46	A	A
4	I	-0.24	0.19	A	-4.84	A	A
	II	-0.42	0.28	A	-5.91	A	A
	III	0.83	0.53	A	10.8	A	A

Based on the evaluation of results given in Table 2, it can be seen that different applied analytical procedures for determination of ^{90}Sr in soil samples were acceptable in terms of accuracy and precision.

CONCLUSION

The determination of ^{90}Sr in the environmental samples is important in the routine environmental radiation monitoring. Hence, this paper gives an overview about the comparison of the different radiochemical procedures for the determination of ^{90}Sr , including the classical procedure based on a series of semi-selective precipitations, the ion exchange and solvent extraction procedure. Therefore, the fact that the application of different radiochemical methods of separation, but measurements on the same type of instrument showed a good agreement of the obtained results, it can be concluded that applied methods fulfill the requirements of low activity measurements of environmental samples.

Acknowledgement

The investigation was supported by Ministry of Education, Sciences and Technological Development of Serbia, under project III43009, Serbian-Croatian bilateral project under number 38 (2016-2017) and Serbian-Slovenian bilateral project under number 29 (2016-2017).

REFERENCES

- [1] Vajda N, Kim CK. Determination of radiostrontium isotopes: A review of analytical methodology. *Appl Radiat Isotopes* 2010;68:2306-2326.
- [2] Solecki J, Chibowski S. Studies on Horizontal and Vertical Migration of ^{90}Sr in Soil Systems. *Polish J Environ Studies* 2002;11:157-163.
- [3] Porter CR, Kahn B, Carter MW, Rehnberg GL, Pepper EW. Determination of Radiostrontium in Food and Other Environmental Samples. *Environ Sci Technol* 1967;1:1745-750.
- [4] International Atomic Energy Agency, IAEA. Measurements of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Report Ser. No. 295. Vienna; 1989.
- [5] Randolph RB. Determination of ^{90}Sr and ^{89}Sr by Cerenkov and liquid scintillation counting. *Appl Radiat Isot* 1971;26:9-16.
- [6] Jakopič R, Benedik Lj. Tracer Studies on Sr Resin and Determination of ^{90}Sr in Environmental Samples. *Acta Chim Slov* 2005;52:297-302.
- [7] Kanekar AS, Pathak PN, Mohapatra PK. A rapid online estimation method for radiostrontium in soil samples using crown ether and supercritical fluid extraction. *Talanta* 2012;99:744-749.
- [8] Tinker RA, Smith JD, Cooper MB. Determination of Strontium-90 in Environmental Samples Containing Thorium. *Analyst* 1997;122:1313-1317.
- [9] Grahek Ž. Calcium-strontium separation by means of mixed solvent anion exchange. *J Radioanal Nucl Chem* 2001;247:297-305.
- [10] Sarap NB, Janković MM, Pantelić GK. Validation of radiochemical method for the determination of ^{90}Sr in environmental samples. *Water Air Soil Pollut* 2014;225:2003-2013.
- [11] Grahek Ž, Nodilo M. Continuous separation of Sr, Y and some actinides by mixed solvent anion exchange and determination of $^{89,90}\text{Sr}$, $^{238,239}\text{Pu}$ and ^{241}Am in soil and vegetation samples. *J Radioanal Nucl Chem* 2012;293:815-827.
- [12] International Atomic Energy Agency (IAEA). World-Wide Open Proficiency Test on the Determination of Anthropogenic and Natural Radionuclides in Water, Rice and Soil Samples. Report on the IAEA-TEL-2015-03. Vienna: IAEA; 2015.

INTERCOMPARISON OF DIFFERENT METHODOLOGIES FOR DETERMINATION OF RADIOSTRONTIUM IN SOIL SAMPLES

*Nataša B. Sarap¹, Marijana Nodilo², Marko Štrok³, Marija M. Janković¹
and Željko Grahek²*

¹University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade,
Serbia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

³Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia
natasas@vin.bg.ac.rs

Nuclide ^{90}Sr is one of twelve radioactive isotopes of strontium that has an artificial origin as a consequence of nuclear weapon testing during 1950s and 1960s, as well as the nuclear accidents. Based on its half-life of 28.8 y, this radionuclide can still be found in the environment as a result of these activities. The knowledge about behavior of ^{90}Sr and also of its content in environmental samples is of extreme importance to prevent and control contamination, predominantly of food chain.

For the purpose of this study, an agricultural soil from territory of the Republic of Serbia was investigated. The aim was to compare three different methodologies for the determination of ^{90}Sr activity in soil samples and the interpretation of obtained results. The radiochemical analytical method of ^{90}Sr determination via ^{90}Y , radiochemical analytical method based on ion-exchange resins and radiochemical analytical method with fuming nitric acid were compared and evaluated. In all cases measurements were performed on proportional counter. The acquired results showed a good agreement between the compared methods.

^{137}Cs U KOPAČKOM RITU

*Irena Lukanović², Marina Poje Sovilj², Tomislav Meštrović¹, Denis Stanić²,
Marko Šoštarić¹, Igor Miklavčić², Dinko Babić¹, Vanja Radolić² i
Branko Petrinec¹*

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek
petrinec@imi.hr

UVOD

Prisutnost antropogenih radionuklida u okolišu posljedica je nuklearnih testiranja, primjeni nuklearne tehnologije u određenim djelatnostima ili nuklearnih/radioloških nesreća. Tlo i voda, kao potencijalni izvor kontaminacije biote, imaju značajnu ulogu u praćenju radioaktivnosti u okolišu u uvjetima nuklearnih/radioloških nesreća. Od svih antropogenih radionuklida, ^{137}Cs i ^{90}Sr predstavljaju najveću potencijalnu opasnost za ljudski organizam s obzirom na relativno dugo vrijeme poluraspada ($T_{1/2}^{137}\text{Cs} = 30,17$ god; $T_{1/2}^{90}\text{Sr} = 28,78$ god) i njihove kemijske sličnosti s kalijem i kalcijem [1,2]. Zato je, u svrhu zaštite stanovništva od negativnih učinaka zračenja, nužno neprekidno praćenje koncentracije aktivnosti navedenih radionuklida u okolišu.

Ovim se radom želi doprinijeti spoznaji o kontaminaciji Kopačkog rita fisijskim radionuklidima, prvenstveno ^{137}Cs te su s tom svrhom uzorkovani tlo i voda na nekoliko različitih lokacija kojima se nastojala obuhvatiti što veća površina Kopačkog rita.

Aktivnost ^{137}Cs određena je gamaspektrometrijskom metodom mjerenjima na HPGe detektorskom sustavu, a analiza uzoraka provedena je u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu.

Jedinica provodi istraživanja onečišćenja okoliša prirodnim i fisijskim radionuklidima na području Republike Hrvatske te obavlja poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja i određivanja ozračenosti stanovništva u skladu s ovlaštenjima Instituta.

MATERIJALI I METODE

Uzorci su uzorkovani prema standardnim procedurama Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA). Uzorci vode su volumena 50 litara

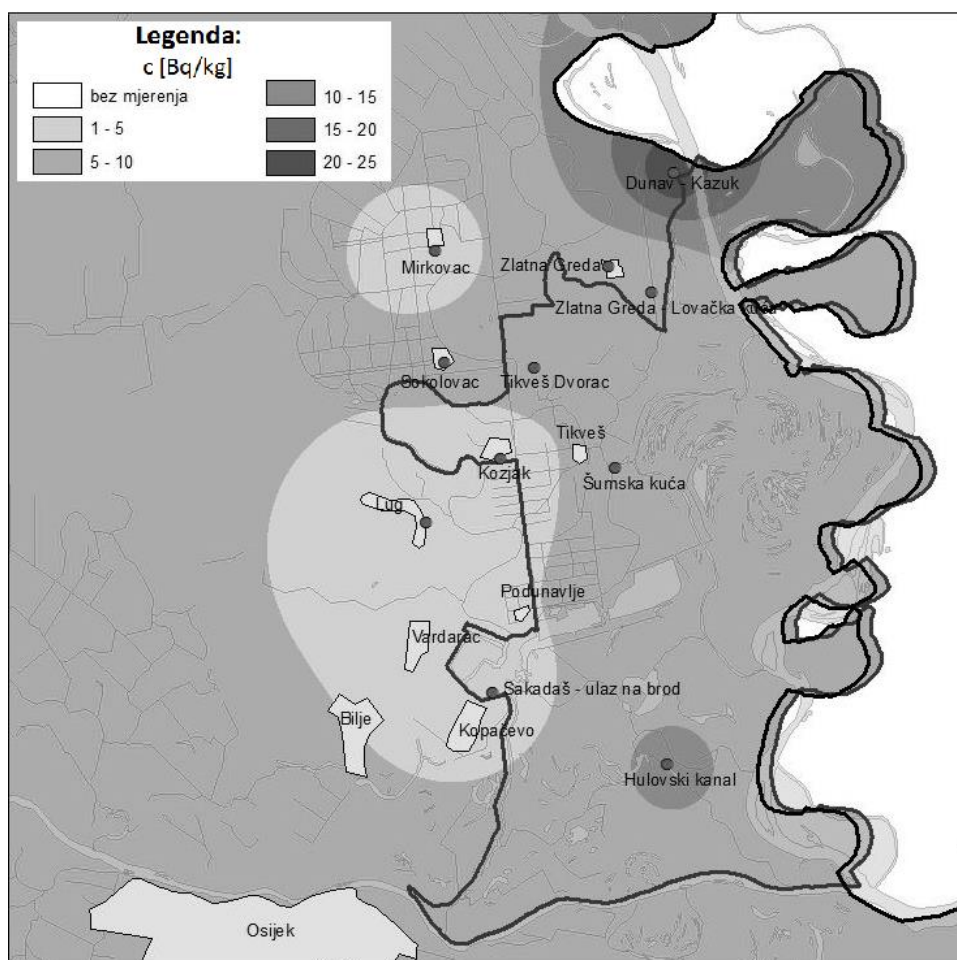
koji se uparava na volumen 1 litre i mjeri se u nepropusnim plastičnim Marinelli posudama volumena jedne litre [3].

Uzorkovanje tla provodi se na sljedeći način: na površini od 1 m² uzima se 10 uzoraka bušačem promjera 10 cm do dubine 10 cm. Prikupljeni uzorak prostre se na odgovarajuću površinu te se ostavi sušiti na sobnoj temperaturi nekoliko dana. Nakon sušenja uzorak tla se prosije na čestice veličine 2 mm, a potom se prosijani dio uzoraka dva do tri dana suši u sušioniku do konstantne mase na 105 °C i homogenizira. Osušeni uzorak zemlje se važe te se uzorci spaljuju na temperaturi od 450 °C, nakon čega se dobiveni uzorak pakira u odgovarajuću geometriju mjerenja i stavlja na čekanje do postizanja ravnoteže radionuklida [3]. Gamaspektrometrijski sustav temelji se na High-Purity Germanium Coaxial Photon Detector System ORTEC HPGe detektoru (FWHM 2,24 keV na 1,33 MeV ⁶⁰Co s relativnom učinkovitosti od 74,2 % na 1,33 MeV ⁶⁰Co), spojenim s višekanalnim analizatorom koji je pak povezan s računalnim sustavom. Kalibracija energije i efikasnosti gamaspektrometra provedena je standardima Češkog metrološkog instituta koji pokriva energije između 40 i 2000 keV. Vrijeme mjerenja je 80 000 sekundi ili dulje, ovisno o aktivnosti uzoraka, a računalni program korišten za analizu podataka je ORTEC GammaVision.

REZULTATI

Na zemljovidu Parka prirode Kopački rit prikazane su lokacije uzorkovanja tla, a nijansama sive boje označena su područja predviđene koncentracije izotopa ¹³⁷Cs metodom inverzne udaljenosti. Ovom interpolacijskom metodom se vrijednost u odabranim točkama procjenjuje na način da je utjecaj svake točke inverzno proporcionalan njezinoj udaljenosti od lokacije na kojoj se vrijednost procjenjuje, pri čemu je broj točaka uključenih u procjenu određen polumjerom kružnice opisane oko navedene lokacije.

U geološkom sastavu ovog područja dominiraju sedimenti pleistocenske i holocenske starosti, pri čemu se u površinskom dijelu uglavnom susreću fluvijalni pijesci i pjeskovite ilovače, fluvijalne pijeskovite ilovače i pijesci, te fluvijalno-močvarne glinovite ilovače i gline [4].

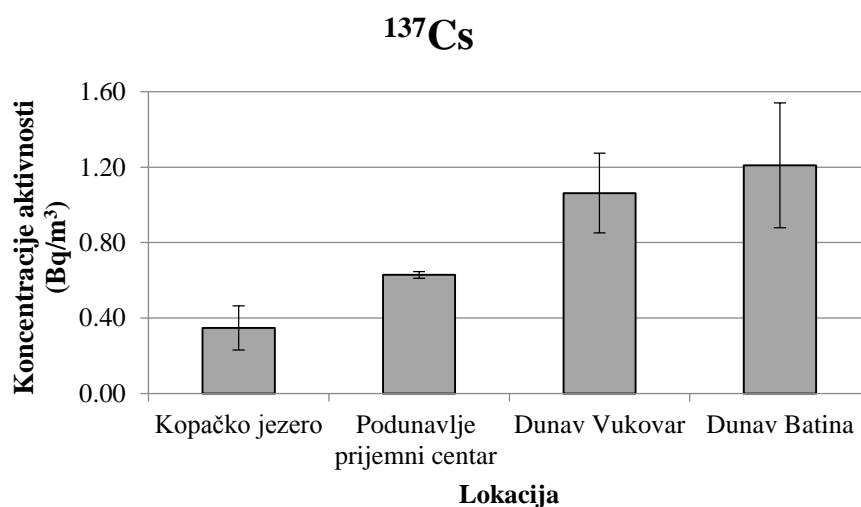


Slika 1. Zemljovid ^{137}Cs u tlu na području Parka prirode Kopački rit [5].

Izmjerene vrijednosti koncentracije ^{137}Cs u tlu na 11 lokacija bile su u rasponu od $1,81 \pm 0,16 \text{ Bq/kg}$ (Kozjak) do $22,77 \pm 0,60 \text{ Bq/kg}$ (Dunav Kazuk) sa srednjom vrijednosti od $7,2 \pm 5,6 \text{ Bq/kg}$. Dobivena prosječna vrijednost usporediva je s prosječnom koncentracijom aktivnosti ^{137}Cs u tlu na području Osječke regije koja za protekle 3 godine iznosi $11 \pm 12 \text{ Bq/kg}$ [6]. Primjenom odgovarajućeg statističkog t-testa između ova dva skupa podataka utvrđeno je da među njima nema statistički značajne razlike na razini signifikantnosti 5 % ($p = 0,54 \geq 0,05$).

Vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u Kopačkom ritu u prosjeku su ipak malo manje od izmjerenih vrijednosti u uzorcima izvan parka prirode, što pripisujemo plavljenju Kopačkog rita i ispiranja gornjeg sloja tla.

Izmjerene su vrijednosti koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u vodi na 4 lokacije u rasponu od $0,35 \pm 0,12 \text{ Bq/m}^3$ (Kopačko jezero) do $1,21 \pm 0,33 \text{ Bq/m}^3$ (Dunav Batina) sa srednjom vrijednosti od $0,81 \pm 0,34 \text{ Bq/m}^3$. Grafički prikaz rezultata nalazi se na Slici 2.



Slika 2. Usporedba koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u vodi za sve lokacije.

Rijeka Dunav, kao i većina drugih hrvatskih rijeka, prolazi kroz poljoprivredna područja te se koristi za navodnjavanje obradivih površina, stoga je praćenje koncentracije aktivnosti cezija u vodi bitno u kontekstu prevencije izloženosti ionizirajućem zračenju.

ZAKLJUČAK

Prosječna vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu na području Kopačkog rita iznosi $7,2 \pm 5,6 \text{ Bq/kg}$, a u usporedbi s rezultatima mjerenja u ostatku Hrvatske, u prosjeku se radi o nešto manjim vrijednostima što možemo pripisati učestalom plavljenju i ispiranju gornjeg sloja tla.

U svim analiziranim uzorcima najveće aktivnosti ^{137}Cs u vodi pronađene su na području Batine ($1,21 \pm 0,33 \text{ Bq/m}^3$), pri čemu prosječna vrijednost svih lokacija za vodu iznosi $0,81 \pm 0,34 \text{ Bq/m}^3$. Cilj daljnjih

radioloških istraživanja u Kopačkom ritu je provesti detaljniju analizu svih radionuklida na teritoriju Parka prirode Kopački rit zbog specifičnosti samog područja i njegovog značaja za ekosustav. Također, s radiološke točke gledišta potrebno je detaljnije proučiti utjecaj plavljenja Drave i Dunava na Kopački rit.

Zahvala

Autori zahvaljuju djelatnicima Jedinice za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada gđi. Ljerki Petroci i g. Maku Avdiću na pomoći u pripremi uzoraka.

LITERATURA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly (UNSCEAR). Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York, 1958.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly (UNSCEAR). Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York, 1964.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Reports Series No. 295. Vienna: IAEA; 1989.
- [4] Benčina L, Rožac V, Bolšec B. i suradnici. Plan upravljanja Parkom prirode Kopački rit. Tikveš, 2010. URL: http://pp-kopacki-rit.hr/docs/plan_upravljanja.pdf
- [5] ArcGIS software by Esri. ArcGIS and ArcMap™ (2015) are the intellectual property of Esri and are used herein under license. Copyright Esri. All rights reserved. (www.esri.com)
- [6] Marović G, Avdić M, Babić D, Bituh T, Branica G, Franić Z, Franulović I, Kolar M, Petrincec B, Petroci LJ, Senčar J, Skoko B. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2012-2015. godinu. Izvještaj IMI-CRZ, Zagreb 2013-2016..

¹³⁷Cs IN KOPAČKI RIT

*Irena Lukanović², Marina Poje Sovilj², Tomislav Meštrović¹, Denis Stanić²,
Marko Šoštarić¹, Igor Miklavčić², Dinko Babić¹, Vanja Radolić² and
Branko Petrinc¹*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Department of Physics, J. J. Strossmayer University of Osijek, Osijek,
Croatia

petrinc@imi.hr

The goal of the paper has been to determine the activity of ¹³⁷Cs in the soil and water samples from the Nature Park Kopački Rit in the northeastern part of Croatia. The soil samples were collected according to the standard procedures of the International Atomic Energy Agency (IAEA) on 14 different locations on Kopački Rit. Activity concentrations of ¹³⁷Cs were determined by means of gamma spectrometry using an ORTEC HPGe detector system (FWHM 2.24 keV at 1.33 MeV ⁶⁰Co with relative efficiency of 74.2 % at 1.33 MeV ⁶⁰Co).

The measured concentrations in the soil at 11 locations ranged from 1.81 ± 0.16 Bq/kg (Kozjak) to 22.77 ± 0.60 Bq/kg (Dunav Kazuk) with a mean activity concentration of 7.2 ± 5.6 Bq/kg. These values are a somewhat lower than the average values of Osijek region (11 ± 12 Bq/kg) due to the frequent flooding of this area.

¹³⁷Cs activity concentrations in water ranged from 0.35 ± 0.12 Bq/m³ (Kopačko jezero) to 1.21 ± 0.33 Bq/m³ (Dunav Batina). The mean value is 0.81 ± 0.34 Bq/m³.

RADIOAKTIVNOST MAHOVINE POKAZATELJ RADIOLOŠKOG ONEČIŠĆENJA

*Dinko Babić, Gordana Marović, Marko Šoštarić, Zdenko Franić,
Branko Petrinec i Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

marovic@imi.hr

UVOD

Mahovine su ekstremno osjetljivi biološki indikacijski organizmi i vrlo su važne u biomonitoringu. Višegodišnje su biljke sporoga rasta. Osjetljive su na uvjete u okolišu koga su sastavni dio. Pomoću njih se mogu prikupiti korisni podaci o prostornoj i vremenskoj razdiobi i trendovima onečišćenja zraka i okoliša, posebno radiološkoga, u uvjetima bilo nuklearnog udesa bilo nekontrolirane emisije fisijskih produkata. Praćenjem kontaminacije mahovine fisijskim radionuklidima, posebno ^{137}Cs , u poslijechornobiljskom razdoblju potvrdilo se da je mahovina važna karika u biomonitoringu [1,2].

Nesreća u ožujku 2011. godine u Japanu uslijed globalnih dinamičkih kretanja u atmosferi i oceanu proširila je radioaktivnost diljem sjeverne hemisfere [3]. Važnost se bioindikatora potvrdila i nakon te nesreće, budući da se u biosferi u uzorcima iz okoliša ponovno pojavljuju i ^{134}Cs i ^{137}Cs [4]. Mahovine u gotovo zanemarivim količinama resorbiraju fisijske produkte iz zemlje, iako novija istraživanja proučavanja mahovine kao osjetljivog bioindikatora pokazuju da i resorpcija iz tla nije zanemariv i manje važan izvor kontaminacije, ali samo u za mahovinu pogodnim uvjetima rasta, uz dovoljnu vlažnost cijelog površinskog sloja tla [5].

Analizirane su mahovine na nekoliko lokacija: na prostoru aktivne plinske bušotine, što je prostor koji možemo nazvati radnom okolinom, u dvorištu Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu, te na ruralnom prostoru uz voćnjake i vinograde u Kloštru Ivaniću. Prikazani rezultati u posljednjih pet godina nastavak su dugogodišnjih istraživanja prisutnosti cezija u mahovini provedenih u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu kao dio proširenog programa praćenja stanja radioaktivnosti uzoraka životne sredine na području Republike Hrvatske [2,4].

MATERIJAL I METODE

Uzorci mahovine skupljani su tijekom proteklih nekoliko godina na odabranim lokacijama u unutrašnjosti Hrvatske: u dvorištu Instituta za medicinska istraživanja i medicine rada u Zagrebu, u Podravini na prostoru aktivne plinske bušotine u Molvama, što je prostor koji možemo nazvati radnom okolinom, te u ruralnom području uz voćnjake i vinograde u Kloštru Ivaniću. Uzorci su sušeni u na 105 °C, usitnjeni, umrvljeni, potom pakirani u plastične posude za mjerenje. Količinski veći uzorci su spaljivani u mufolnoj peći na 450 °C i pepeo je potom spakiran u plastične posude za mjerenje.

Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišteni su detektori: Ge(Li) detektor ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8 % na 1,33 MeV ^{60}Co ; HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co povezani s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) kao i Združenog istraživačkog centra Europske unije (JRC EU).

REZULTATI

Dosadašnjim istraživanjima koncentracije aktivnosti cezija u mahovini na području Hrvatske pokazano je da mahovine akumuliraju cezij i da je on stalno prisutan i godinama poslije nesreće u Čornobilju [1,2]. Također, pokazana je pojava i ^{134}Cs u uzorcima mahovine uz povećane vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs poslije nesretnih događanja u Fukushima u Japanu 2011. godine [4].

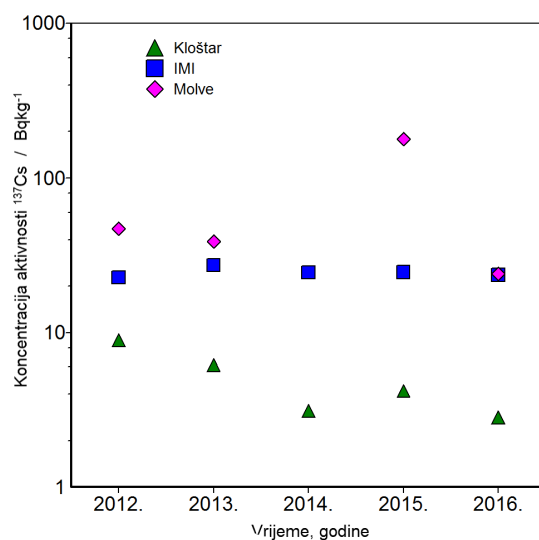
Mogućnost uzorkovanja mahovine na istom mjestu kroz nekoliko godina iskorištena je u istraživanju kontaminacije mahovine cezijem na različitim lokacijama. Različitost lokacija definirala je različite podloge na kojima raste mahovina. Pokazalo se da između lokacija postoji razlika u koncentracijama aktivnosti cezija.

U promatranom razdoblju vrijednosti koncentracija aktivnosti cezija (A) u mahovini slijede nizove:

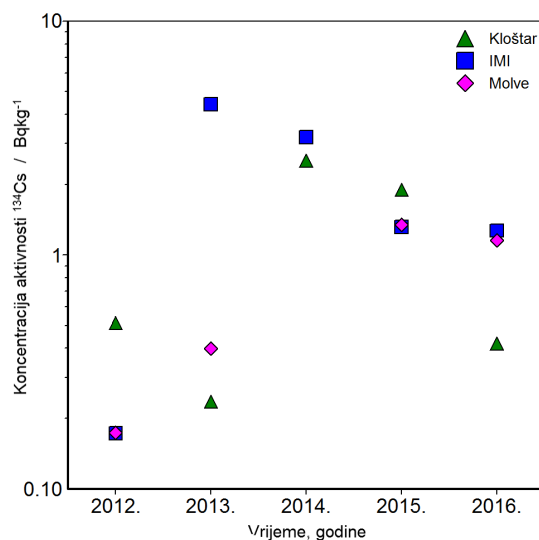
$$^{137}\text{Cs}: A_{\text{Kloštar}} < A_{\text{IMI}} < A_{\text{Molve}}$$

$$^{134}\text{Cs}: A_{\text{Molve}} < A_{\text{Kloštar}} < A_{\text{IMI}}$$

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs prikazane su na Slici 1 i Slici 2. Vrijednosti ^{137}Cs statistički se značajno razlikuju po lokacijama.



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovini na odabranim lokacijama u Kloštru Ivaniću, u Molvama i na IMI.



Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{134}Cs u mahovini na odabranim lokacijama u Kloštru Ivaniću, u Molvama i na IMI.

Vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{134}Cs niske su, oko vrijednosti granica detekcije, i ne slijede obrazac ^{137}Cs o značajnosti razlika po lokacijama. Utjecaj podloge na kojoj mahovine rastu ostavlja otvorena pitanja. U ruralnom području u blizini voćnjaka i vinograda u Kloštru Ivaniću mahovina raste na tlu, uz travu. U dvorištu IMI mahovina je uzorkovana na betonskoj podlozi, na rubniku uz pješačku stazu. Tijekom 2015. i 2016. godine na lokaciji IMI mahovina je uzorkovana ne samo na betonskom rubniku prema zatravljenoj površini dvorišta, već i na stablu breze u dvorištu. Usporedba izmjerenih vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs pokazala je da ne postoji statistički značajna razlika između uzoraka s obzirom na mikro lokaciju prikupljanja (površina tla - betonski rubnik: $24,5 \pm 0,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ i stablo: $23,6 \pm 0,8 \text{ Bqkg}^{-1}$). Razlika je međutim prisutna u tipu podloge na različitim lokacijama. Posebno razmatranje zahtijeva lokacija na prostoru aktivne plinske bušotine gdje mahovina izrasta na šljunkovitom tlu. Veće vrijednosti u odnosu na ostale lokacije potvrđuju hipotezu o resorpciji iz tla kao nezanemarivom i ne manje važnom izvoru kontaminacije u za mahovinu pogodnim uvjetima rasta, uz dovoljnu vlažnost cijelog površinskog sloja tla [5]. Kako je 2011. godina u kojoj je došlo do dodatne kontaminacije cezijem bila vrlo suha na cijelom području Hrvatske, bilo je za očekivati pojavnost većih koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i u vremenu nakon 2012. godine budući da deponirana, oborena aktivnost ^{137}Cs u vlažnim vremenima može potaknuti resorpciju cezija iz tla na kom raste mahovina.

ZAKLJUČAK

Mahovine kao vrlo dobri bioakumulatori radioaktivne kontaminacije svojom su izuzetnom osjetljivošću na prisutnu kontaminaciju u okolišu još jednom pokazale sposobnost akumulacije prisutne radioaktivnosti. Da bi se uočene razlike u pojedinim područjima Hrvatske bolje objasnile potrebna su daljnja sustavna istraživanja mahovina i njihovog prirodnog staništa uz praćenje i meteoroloških i hidroloških parametara. Takva istraživanja omogućit će bolje poznavanje bioindikatorskog sustava i proširivanje spoznaja o prostornim i vremenskim razdiobama fizijske aktivnosti (kontaminacije) u svim sastavnicama okoliša.

Zahvala

Autori se zahvaljuju Ljerki Petroci na pomoći.

LITERATURA

- [1] Marović G. The role of bioindicators in assessing radioactive contamination. *Arh hig rada toksikol*, 1990;41:371-378.
- [2] Marović G, Franić Z, Senčar J, Bituh T, Vugrinec O. Mosses and some Mushroom Species as Bioindicators of Radiocaesium Contamination and Risk Assessment. *Collegium antropologicum* 2008;32(S2): 109-114.
- [3] Sugiyama G, Nasstrom J, Pobanz B, Foster K, Simpson M, Vogt Ph, Aluzzi F, Homann S. Atmospheric dispersion modeling: Chalenges of the Fukushima Dai-ichi response. *Health Phys.* 2012;102(5):493-508.
- [4] Marović G, Franić Z, Avdić M, Skoko B, Senčar J. Radioaktivnost mahovine – odgovor na kontaminaciju iz Fukushime. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I. (ur.) *Zbornik radova IX. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem*; 10.-12. travnja 2013.; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ - CRPA; 2013. str. 462-467
- [5] Klos A, Czora, M, Rajfur M, Wacławek M. Mechanisms for Translocation of Heavy Metals from Soil to Epigeal Mosses. *Water Air Soil Pollut* 2012; 223:1829-1836.

RADIOACTIVITY IN MOSSES INDICATOR OF RADIOLOGICAL CONTAMINATION

*Dinko Babić, Gordana Marović, Marko Šoštarić, Zdenko Franić,
Branko Petrinc and Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
marovic@imi.hr

Mosses, characterised by a slow growth, are able to efficiently accumulate different radionuclides from the environment to a much higher degree than other vegetation. Consequently, mosses are sensitive bioindicators of radioactive contamination in various ecosystems. Radioactivity released into air after the accident in the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant has become part of atmospheric processes and the transport of matter in the biosphere.

During the last five years, mosses were sampled at three selected locations: in the courtyard of the Institute for medical research in Zagreb (IMI), at an active gas well in Podravina (Molve) and near orchards and vineyards in Kloštar Ivanić. Moss samples were before analysis dried in an oven and after that usually ashed. All the samples were analysed by means of gamma-ray spectrometry using HP GMX and/or Ge(Li) detectors connected with a data acquisition system. The obtained results show the following relations between ^{137}Cs and ^{134}Cs activity concentrations on selected locations:

$$\begin{aligned}^{137}\text{Cs}: A_{\text{Kloštar}} &< A_{\text{IMI}} < A_{\text{Molve}} \\^{134}\text{Cs}: A_{\text{Molve}} &< A_{\text{Kloštar}} < A_{\text{IMI}}\end{aligned}$$

It is shown that the differences in ^{137}Cs activity concentrations are statistically significant. There are at least two mechanisms present in mosses, one based on the transfer of metals (caesium) with dust uplifted from soil and the other one based on the diffusion in aqueous solution wetting a moss. We assume that the differences in the ^{137}Cs activity concentrations are caused by the mosses growing at different locations with different fallout characteristics (wet and dry deposition). The ^{134}Cs activity concentration is small everywhere, near the values of the detection limits.

The study was conducted in the Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb, as a part of an extensive monitoring program of the Croatian environment.

KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI ^{137}Cs I ^{40}K U JESTIVIM GLJIVAMA IZ BOSNE I HERCEGOVINE

Nedžad Gradašćević, Nedim Mujić i Davorin Samek
Univerzitet u Sarajevu, Veterinarski fakultet, Sarajevo,
Bosna i Hercegovina
nedzad.gradascevic@vfs.unsa.ba

UVOD

Gljive spadaju u bioindikatore radioaktivnosti kopnenog okoliša koji u značajnoj mjeri apsorbiraju neke od radionuklida prisutnih u tlu, prvenstveno $^{134,137}\text{Cs}$. Poznato je da i u uvjetima uobičajenih nivoa $^{134,137}\text{Cs}$ u tlu, gljive mogu akumulirati 10-100 puta više nivoa u odnosu na tlo [1]. Visok nivo apsorpcije rezultirat će izuzetno visokim nivoima ^{137}Cs u gljivama u uslovima kontaminacije, što za posljedicu može imati značajno unošenje ovoga radionuklida kod ljudi i životinja koji konzumiraju ovu vrstu hrane.

U literaturi se mogu pronaći različita tumačenja afiniteta gljiva za apsorpciju $^{134,137}\text{Cs}$. Većina autora ga objašnjavaju heterotrofnim načinom ishrane i građom gljiva. Prisustvo organela za prehranu gljiva - micelija u sloju tla u kome se u najvećoj koncentraciji zadržava $^{134,137}\text{Cs}$ smatra se razlogom povišenih nivoa ovoga radionuklida u gljivama [2] kao i razlogom dužeg zadržavanja deponiranog $^{134,137}\text{Cs}$ u šumsko-planinskim područjima [3].

Gljive kao biljna vrsta pokazuju širok, i često veoma visok afinitet za kalijem, čije sadržaj u pojedinim vrstama gljiva varira između 1,5 i 117 g kg⁻¹ DM [4] i viši je od većine biljnih vrsta. Analogija odnosno natjecateljski odnos između kemijski i metabolički sličnih $^{134,137}\text{Cs}$ i ^{40}K , karakterističan za većinu biljnih vrsta, nije značajno izražen kod gljiva. U literaturi je također opisan i afinitet gljiva za apsorpciju određenih teških metala (Cd, Cu, Pb), ali i mikroelemenata (Fe) i esencijalnih elemenata (Se) [5-7].

U radu su prikazani rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u uzorcima gljiva sa različitih područja Bosne i Hercegovine sa ciljem uvida u nivoa ^{137}Cs u gljivama namijenjenim za izvoz u EU. Mjerenja nivoa ^{40}K korištena su za provjeru odnosa koncentracija ova dva radionuklida i utvrđivanja prirode njihovoga međusobnoga odnosa.

MATERIJAL I METODE

U Laboratorij za kontrolu radioaktivnosti Veterinarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu su tijekom 2015. godine dostavljani uzorci gljiva namijenjeni za izvoz u Europsku Uniju. U uzorcima gljiva su gamaspektrometrijskom metodom utvrđivani nivoi ^{137}Cs i ^{40}K . Gamaspektrometrijska mjerenja vršena su na vertikalnom koaksijalnom HPGe POP-TOP detektoru p-tipa, proizvođača "ORTEC", model "GEM 30P4" sa relativnom efikasnošću 30 % i rezolucijom 1,85 keV na 1,33 MeV.

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs određivane su na energiji 661,6 keV. Aktivnosti ^{40}K dobivene su iz njegove gama linije na energiji 1461 keV. Nivoi aktivnosti ^{134}Cs su bile ispod donje granice detekcije mjernog instrumenta.

REZULTATI

Iz dobivenih rezultata se uočava da su nivoi aktivnosti ^{137}Cs u ispitivanim uzorcima ovisili o sadržaju suhe tvari u uzorku. Najviše vrijednosti ^{137}Cs i ^{40}K zabilježene su u uzorcima sušenih gljiva dok su značajno niže vrijednosti utvrđene u svježim i zamrznutim gljivama.

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u uzorcima jestivih gljiva iz Bosne i Hercegovine u 2015. godini (Bq kg^{-1}).

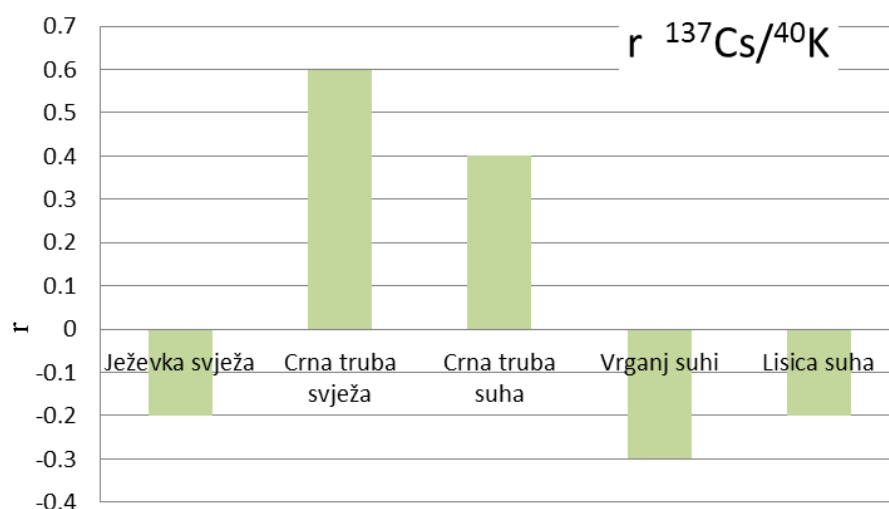
Vrsta	^{137}Cs			^{40}K		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
Ježevka svježa (n = 8)	176,6	12,5	780,9	128,9	100,1	181,1
Crna truba svježa (n = 6)	28,4	3,3	113,8	160,9	142,8	186,2
Crna truba suha (n = 7)	164,7	18,6	766,7	1400,6	1325,6	1466,9
Vrganj smrznuti (n = 3)	21,7	20,6	23,6	74,4	47,9	103,3
Vrganj suhi (n = 13)	69,8	17,1	199,4	670,3	509,0	785,6
Lisičarka zlatna svježa (n = 4)	77,2	49,8	125,2	78,4	69,9	86,2
Lisičarka zlatna suha (n = 3)	1346,8	1220,9	1596,2	994,0	851,1	1073,2
Lisičarka obična svježa (n = 2)	2,4	2,0	2,8	53,0	28,4	77,6
Lisičarka obična suha (n = 6)	81,2	41,8	143,1	1410,6	1301,4	1538,1

U odnosu na vrstu gljive, najviše vrijednosti ^{137}Cs zabilježene su u uzorcima sušene zlatne lisičarke (*Cantharellus tubaeformis*) sa vrijednošću $1596,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ i sušene crne trube (*Craterellus cornucopioides*) $766,7$

Bqkg⁻¹. U uzorcima svježih gljiva najviše vrijednosti utvrđene su u uzorku ježevke (*Hydnum repandum*) sa vrijednošću 780,9 Bqkg⁻¹.

Nivoi ⁴⁰K također su pokazali pozitivnu korelaciju sa sadržajem suhe tvari u uzorku i bili su viši za jedan (*Craterellus cornucopioides*) odnosno dva reda veličine (*Cantharellus tubaeformis* i *Cantharellus cibarius*) u odnosu na svježe gljive iste vrste.

Ispitivanjem korelacije između koncentracija aktivnosti ¹³⁷Cs i ⁴⁰K u vrstama gljiva sa zadovoljavajućim brojem uzoraka dobivene su vrijednosti prikazane na Slici 1.



Slika 1. Vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije r između nivoa aktivnosti ¹³⁷Cs i ⁴⁰K u uzorcima gljiva iz Bosne i Hercegovine.

Iz Slike 1 se uočava da je statistički značajna negativna korelacija između koncentracija ¹³⁷Cs i ⁴⁰K zabilježena jedino kod uzoraka suhoga vrgnja (*Boletus edulis*) sa niskim negativnim korelacionim koeficijentom ($r = -0,3$), dok je statistički značajna pozitivna korelacija utvrđena kod uzoraka svježe i sušene crne trube (*Craterellus cornucopioides*) sa relativno visokim koeficijetima ($r = 0,6$ i $r = 0,4$). Ostali korelacioni koeficijenti bili su negativni i nisu imali statističku značajnost.

Dobiveni rezultati ukazuju na izostanak klasičnog natjecateljskog odnosa između ¹³⁷Cs i ⁴⁰K prilikom absorpcije hranjivih tvari iz tla koji je zabilježen kod ostalih biljaka [8,9]. Ovakav rezultat može se smatrati uobičajenim za gljive obzirom na općenito visoke potrebe gljiva za kalijem

usljed kojih se mehanizmi homeostatske kontrole nivoa kalija najčešće ne aktiviraju. Ukoliko se uzme u obzir i činjenica da je 2015. godina bila izuzetno suha i topla, vjerovatni ubrzan rast tijekom rijetkih kišovitih dana rezultirao je neselektivnim unošenjem hranjivih materija što je u konačnici dovelo do općenito viših nivoa ^{137}Cs u uzorcima gljiva iz Bosne i Hercegovine.

ZAKLJUČAK

Tijekom 2015. godine u uzorcima gljiva iz Bosne i Hercegovine zabilježeni su povišeni nivoi ^{137}Cs u odnosu na prethodne godine. Razlog povišenim nivoima ^{137}Cs bilo je sušno i veoma toplo ljeto što je rezultiralo neselektivnom absorpcijom hranjivih tvari iz tla i substitucijom esencijalnih elemenata njihovim analogima pri ubrzanom rastu za vrijeme rijetkih kišovitih dana.

LITERATURA

- [1] Rosén K, Vinichuk M, Nikolova I, Johanson K. Long-term effects of single potassium fertilization on ^{137}Cs levels in plants and fungi in a boreal forest ecosystem. *J Environ Radioact.* 2011;102:178-184.
- [2] Mietelski JW, Jasinska M, Kubica B, Kozak K, Macharski P. Radioactive contamination of Polish mushrooms, *Sci Total Environ* 1994;157:217-226.
- [3] Vinichuk M, Rosén K, Johanson KJ, Dahlberg A. Correlations between potassium, rubidium and cesium (^{133}Cs and ^{137}Cs) in sporocarps of *Suillus variegatus* in a Swedish boreal forest. *J Environ Radioact.* 2011;102:386-392.
- [4] Kalač P. A review of edible mushroom radioactivity. *Food Chem* 2001;75:29-35.
- [5] Tuzen M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. *Microchem J.* 2003;74:289-297.
- [6] Sesli E, Tuzen M. Levels of trace elements in fruiting bodies of macrofungi growing in the East Black Sea region of Turkey. *Food Chemistry* 1999;65:43-46.
- [7] Falandysz J. Selenium in edible mushrooms. *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev* 2008;26:256-99.
- [8] Korobova EM, Brown Justin B, Ukraintseva NG, Surkov VV. ^{137}Cs and ^{40}K in the terrestrial vegetation of the Yenisey Estuary: landscape, soil and plant relationships. *J Environ Radioact* 2007;96:144-156.
- [9] Nishita H, Romney EM, Larson, KH, Uptake of radioactive fission products by crop plants. *J Agric Food Chem* 1961;9:101-106.

ACTIVITY CONCENTRATIONS OF ^{137}Cs AND ^{40}K IN EDIBLE MUSHROOM SPECIES FROM BOSNIA AND HERZEGOVINA

Nedžad Gradašćević, Nedim Mujić and Davorin Samek
University of Sarajevo, Veterinary Faculty, Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina
nedžad.gradascevic@vfs.unsa.ba

The results of radioactivity control of edible mushroom species from Bosnia and Herzegovina are presented in the paper. The work was performed under the regular control of food intended for export into European Community. Analyses were performed by gamma spectrometry method with use of the high resolution HPGe (high purity germanium) detector with additional equipment.

Obtained specific activities activity concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K in fresh samples of mushrooms were in ranges $2.8 - 780.9 \text{ Bq kg}^{-1}$ and $49.8 - 186.2 \text{ Bq kg}^{-1}$, respectively. Recorded levels of observed radionuclides in dried samples of mushrooms were in ranges: $17.6 - 1596.2 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{137}Cs and $509.0 - 1466.9 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{40}K . The highest levels of both radionuclides among mushroom species were recorded in dried samples of *Cantharellus cibarius*. Levels of ^{137}Cs significantly varied in dependence of geographical origin of the samples whilst the levels of ^{40}K were more homogenous distributed.

There was no recorded competitive correlation between levels of analogues ^{137}Cs and ^{40}K , which could be one of the possible causes of increased uptake of ^{137}Cs by mushrooms, compared with herbal species.

Obtained results pointed on the presence of few hot spots with increased levels of the ^{137}Cs in soil which could lead to increased levels of mentioned radionuclides in meat of wild animals consuming the mushrooms as the main component of diet.

During year 2015 in mushroom samples from Bosnia and Herzegovina raised levels of ^{137}Cs were recorded compared to previous years. Reason for this levels was dry and very hot summer which resulted in nonselective absorbtion of nutrients from the soil and substitution of esential elements with their analogues during accelerated growth in rare rainy periods.

TRANSFER FAKTORI ^{226}Ra I ^{232}Th U LANCU TLO-VEGETACIJA

Nedžad Gradašćević, Davorin Sameki i Nedim Mujić

Univerzitet u Sarajevu, Veterinarski fakultet, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

nedžad.gradascevic@vfs.unsa.ba

UVOD

Kontaminacija biljaka odvija se deponiranjem radionuklida na površini biljaka (površinska ili folijarna kontaminacija) ili se radionuklidi iz tla u biljke unose preko korjenog sistema.

Transfer faktor kao izraz za udio sadržaja nekog elementa u tlu koji se u biljke unosi preko korjenog sistema definiran je dvjema grupama faktora, fizikalno-hemijskih i bioloških [1].

Folijarna kontaminacija biljaka zavisi od fizičko-hemijske forme nanosa, meteoroloških uslova u vrijeme depozicije, tipa vegetacije i faze rasta biljke [2,3]. Prihvatanje nekog materijala od strane biljke u suhim uslovima zavisit će od veličine čestica i stadija razvoja biljke dok će gubici prilikom padavina biti veći kod dugotrajnih kiša u odnosu na kratkotrajne pljuskove [4]. Resuspenzija radionuklida sa površine tla na vanjske dijelove biljaka dešava se usljed djelovanja kiše ili vjetrova ili napasanja životinja.

Ponašanje radijuma u lancu tlo-biljke opisano je u pregledima brojnih autora [5-7]. Više vrijednosti transfer faktora radijuma u odnosu na aktinide uranijum i torijum tumačeni su preferencijalnim unošenjem radijuma kao dvovalentnog kationa kao i analogijom radijuma sa kalcijumom i fosforom [8-10]. Viši transfer ^{226}Ra utvrđen je također kod biljaka sa povećanim potrebama za željezom (lisnato povrće).

Torijum se ponaša drugačije u prirodnim sistemima nego u nekim laboratorijskim eksperimentima ili u narušenim sistemima kao što su okoliš površinskih rudnika i odlagališta otpada u rudnicima [11]. Niske vrijednosti TF na torijum (10^{-4} do 10^{-3}) su česte u prirodnim sistemima kao i biljkama raslim u laboratorijskim uslovima [7]. Izuzetno visoke vrijednosti TF bile su objavljene za ^{230}Th u vegetaciji koja je rasla na rubu zatvorene uranske deponije u konvencionalnoj operaciji proizvodnje urana kiselim ispiranjem [11].

U radu su istraživani transfer faktori ^{226}Ra i ^{232}Th u lancu tlo-biljke u okolici deponije pepela termoelektrane sa ciljem utvrđivanja parametara koji utječu na transfer ovih radionuklida u biljke.

MATERIJAL I METODE

Uzorci tla su nakon čišćenja od primjesa kamenja, trave i korjenja sušeni na 105 °C a zatim usitnjavani i prosijavani kroz pore sita veličine 2 mm. Uzorci biljaka su nakon čišćenja od primjesa, sušeni nekoliko dana na vazduhu, a zatim dosušivani na 105 °C u sušioniku do postizanja konstantne mase. Nakon vaganja spaljivani su u pećima na temperaturi 390 °C. Gamaspektrometrijska mjerenja vršena su na vertikalnom koaksijalnom HPGe POP-TOP detektoru p-tipa, proizvođača “ORTEC”, model “GEM 30P4” sa relativnom efikasnošću 30 % i rezolucijom 1,85 keV na 1,33 MeV.

Aktivnosti ispitivanih radionuklida (^{232}Th i ^{226}Ra) mjerene su iz njihovih gama linija i gama linija njihovih potomaka. Aktivnost ^{232}Th izračunavana je iz potomaka ^{228}Ac na energijama 911 keV i 967 keV i ^{208}Tl na energijama 583 keV i 2614 keV. Aktivnost ^{226}Ra obračunavana je iz energija ^{214}Pb na 239 keV i 295 keV i energija ^{214}Bi na 609 keV i 1764 keV.

Transfer faktor izračunavan je po obrascu:

$$TF = A_{\text{stv}}/A_{\text{stt}} \quad (1)$$

gdje je

A_{stv} – aktivnost radionuklida po jedinici suhe tvari vegetacije (Bq kg^{-1})

A_{stt} – aktivnost po jedinici suhe tvari tla (Bq kg^{-1})

REZULTATI

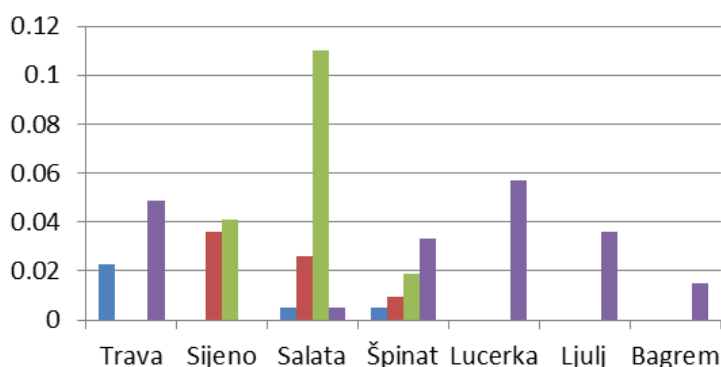
Vrste mjerenih uzoraka i aktivnosti ispitivanih radionuklida prikazani su u Tablicama 1 i 2. Uočeni su nešto viši nivoi ^{232}Th u tlu u odnosu na ^{226}Ra , dok su koncentracije aktivnosti u vegetaciji bile skoro identične. Dobivene vrijednosti transfer faktora ^{226}Ra i ^{232}Th (Slike 1 i 2) bile su prilično ujednačene i pokazale su dobru saglasnost sa literaturnim podacima [12].

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u tlu i vegetaciji (Bq kg^{-1}).

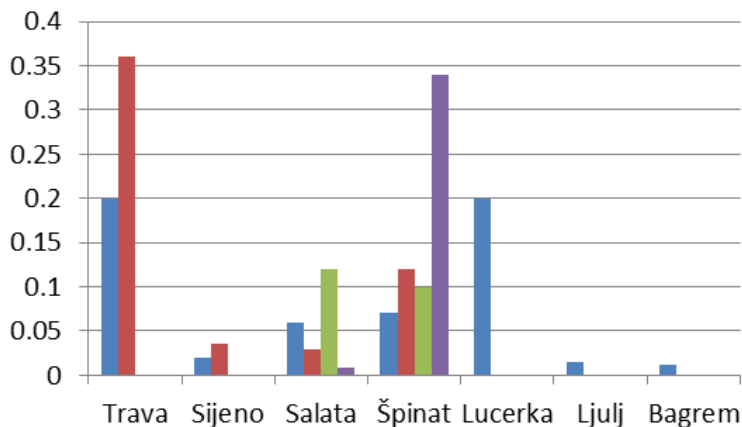
Godina	Tlo	Trava	Sijeno	Salata	Špinat	Lucerka	Ljulj	Bagrem
2013.	29,9	0,15		0,03	0,03			
2014.	33,2		1,02	0,19	0,07			
2015.	23,1		0,8	0,58	0,1			
2016.	27,4	0,3		0,03	0,2	0,35	0,22	0,09

Tablica 2. Koncentracije aktivnosti ^{232}Th u tlu i vegetaciji (Bq kg^{-1}).

Godina	Tlo	Trava	Sijeno	Salata	Špinat	Lucerka	Ljulj	Bagrem
2013.	46,5	0,2		0,06	0,07			
2014.	40,7		1,05	0,27	0,12			
2015.	31,8		0,76	0,84	0,1			
2016.	46,6	0,36		0,08	0,34	0,2	0,16	0,12



Slika 1. Transfer faktori ^{226}Ra u vegetaciji.



Slika 2. Transfer faktori ^{232}Th u vegetaciji.

Uočene varijacije vrijednosti transfer faktora unutar iste vrste uzoraka najvjerojatnije su rezultat različite udaljenosti uzorkovanja od deponije pepela što je rezultiralo i različitom intercepcijom pepela. Jedan od mogućih uzroka varijacija u vrijednosti transfer faktora je i utjecaj resuspenzije pepela sa površine tla i biljaka.

ZAKLJUČAK

Rezultati preliminarnih istraživanja transfera ^{226}Ra i ^{232}Th u okolini deponija termoelektrana ukazuju na važnost utjecaja depozicije pepela na nivo kontaminacije vegetacije kao i na vrijednosti transfer faktora ^{226}Ra i ^{232}Th .

LITERATURA

- [1] Eisenbud M, Gessel T. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources, Fourth Edition, Academic Press, 1997.
- [2] Chamberlain AC, Garland JA. Interception of radioactive fallout by vegetation, UKAEA, Harwell, AERE-R13826, 1991.
- [3] Chamberlain, AC. Interception and retention of radioactive aerosols by vegetation. Atmos Environ 1970;4:57-78,
- [4] Prohl G, Hoffman FO. Radionuclide interception and transport. and loss processes in vegetation. In IAEA (ed.) Modelling of radionuclide interception and loss processes in vegetation and of transfer in semi-natural ecosystems. Second rep. of the VAMP Terrestrial Working Group, Vienna, January 1996. IAEA-TEC DOC-857. Int. Atomic Energy Agency, Vienna. 9–47.
- [5] Ibrahim SA, Whicker FW. Plant/Soil Concentration Ratios of ^{226}Ra for Contrasting Sites Around an Active U Mine-Mill. Health Phys, 1988; 55:903-910,
- [6] Sheppard SC, Sheppard MI, Tait J C, Sanipelli BL, Revision and meta analysis of selected biosphere parameter values for chlorine, iodine, neptunium, radium, radon and uranium. J Environ Radioact 2006;89:115-137.
- [7] Sheppard SC, Sheppard MI, Ilin M, Thompson P, Soil to plant transfers of uranium series radionuclides in natural and contaminated settings. Radioprotection, 2005; 40: 253-259.
- [8] Vandenhove H, Van Hees M, Wannijn J, Wouters K, Wang L. Can we predict uranium bioavailability based on soil parameters? Part 2: Soil solution uranium concentration is not a good bioavailability index. Environmental Pollution 2007;145:577–586.
- [9] Vera Tome F, Blanco Rodriguez P, Lozano JC. Distribution and mobilization of U, Th and ^{226}Ra in the plant-soil compartments of a mineralized uranium area in the south-west Spain. J Environ Radioact, 2002;59:41–60.
- [10] Vera Tome F, Blanco Rodriguez P, Lozano JC, 2003. Soil-to-plant transfer factors for natural radionuclides and stable elements in a Mediterranean area. J Environ Radioact 2003;65,161–175.
- [11] Ibrahim SA, Whicker FW. Comparative plant uptake and environmental behaviour of U-series radionuclides at a uranium mine-mill. J Radioanal Nucl Chem 1992;156:253–267.
- [12] International Atomic Energy Agency (IAEA). Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments, Technical Report Series No. 472 Vienna: IAEA; 2010.

TRANSFER FACTORS OF ^{226}Ra AND ^{232}Th IN CHAIN SOIL-VEGETATION

Nedžad Gradiscevic, Davorin Samek and Nedim Mujic
University of Sarajevo, Veterinary Faculty, Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina
nedžad.gradiscevic@vfs.unsa.ba

Preliminary results of ongoing study of natural radioactivity around the coal power plants in Bosnia and Herzegovina are presented in the paper. Dried samples of soil and mineralised samples of vegetation were used for ^{226}Ra and ^{232}Th transfer assessment in soil-vegetation chain. Sampling was performed at different distances from the active or closed landfills in Bosnia and Herzegovina.

Measurements were performed by gamma spectrometry method with use of the high resolution HPGe detector and additional equipment.

Range of ^{226}Ra transfer factors was 0.005 – 0.110 with mean value 0.031, while the same for ^{232}Th was 0.006 – 0.120 (with mean value 0.026). Despite the generally high variability of the results, obtained values of transfer factors showed good agreement with literature.

Variability of the results was consequence of the different deposition levels of the resuspended coal ash at the surfaces of the plant and soil, caused by the several factors (distance, dominant wind direction, agricultural activities etc.).

Further investigation should be aimed to differentiation and quantification of transfer among the different pathways (root uptake and foliar uptake) in order of assessment of annual ingestion dose for population and domestic animals.

RADIONUCLIDES IN DRINKING WATER AND RISK ASSESSMENT

*Nataša Todorović¹, Jovana Nikolov¹, Sanja Bjelović², Silvija Lučić³,
Ivana Stojković⁴, Andrej Vraničar¹ and Tatjana Ignjić¹*

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²Institute of Public Health of Vojvodina, Novi Sad, Serbia

³Oncology Institute of Vojvodina, Sremska Kamenica, Serbia

⁴University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

²³⁸U series radionuclides are the major contributors to the radiation dose caused by natural radionuclides ingested with drinking water [1]. The most important of these nuclides is ²²²Rn and some long-lived nuclides include ²³⁸U, ²³⁴U, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po. Because of its potential public health hazard, the surveys of radioactivity in water sources are necessary.

In this paper content of natural radioactive isotopes: ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁸U and artificial radioisotope ¹³⁷Cs in 40 samples of drinking water from the territory of Vojvodina (from water supplies, wells, fountains and from wellsprings) were determined. The annual effective dose due to consumption of these waters was estimated.

MATERIALS AND METHODS

The radionuclide content of the drinking water samples was determined from a cumulative sample by gamma-spectrometry measurements using the HPGe spectrometer made by Canberra. The nominal efficiency of the detector is 36% and the resolution is 1.9 keV. The detector was operated inside the 12 cm thick lead shield with the 3 mm Cu inner layer. The sample measurement time was 50 ks. The detector was connected to the digital spectroscopy processing unit Canberra 1300 InSpector. The gamma spectra were acquired and analyzed using the Canberra Genie 2000 software. All measurement uncertainties are presented at a 95 % confidence level [2].

The contribution of drinking-water to total exposure is typically very small and is due largely to naturally occurring radionuclides in the uranium and thorium decay series [3]. For drinking water radioactivity total

indicative dose TID (effective dose from radionuclides in drinking water except ^3H , ^{40}K , radon and radon progenies) is $0.1 \text{ mSv year}^{-1}$ [4].

The guidance levels GL for radionuclides in drinking water [3] were calculated by the equation:

$$\text{GL} = \frac{\text{IDC}}{h_{\text{ing}} \cdot q} \quad (1)$$

where IDC is individual dose criterion; equal to $0.1 \text{ mSv year}^{-1}$, h_{ing} is dose coefficient for ingestion by adults (mSv Bq^{-1}) and q is annual ingested volume of drinking water, assumed to be 730 l year^{-1} [3]. The guidance levels for ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{137}Cs are presented in Table 1.

Table 1. Guidance levels GL for radionuclides in drinking water [3]

Radionuclide	GL (Bq l^{-1})
^{238}U	10
^{226}Ra	1
^{232}Th	1
^{137}Cs	10

An estimate of committed effective dose for each radionuclide should be made and the sum of these doses determined. If the following additive formula is satisfied, no further action is required:

$$\sum_i \frac{C_i}{\text{GL}_i} \leq 1 \quad (2)$$

For the analyzed radionuclides activity concentration in the water samples (C_i) dose calculations were carried out. The total dose (GD) is the sum of the dose contributions of the single radionuclides (GD_i), which are calculated from the activity concentrations (C_i) with the legal valid dose conversion factors ($h(g_i)$) for adults respectively and an annual consumption (KM) of 730 l year^{-1} [5].

$$\text{GD} = \sum_i \text{GD}_i = \sum_i h(g_i) \cdot C_i \cdot \text{KM} \quad (3)$$

Dose conversion factors ($h(g_i)$) are $4.5 \times 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$ for ^{238}U ; $2.8 \times 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1}$ for ^{226}Ra ; $2.3 \times 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1}$ for ^{232}Th and $1.3 \times 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$ for ^{137}Cs [5]. According to [6] the derived concentrations of individual radionuclides

in drinking water are $3.0 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for ^{238}U , $4.9\times 10^{-1} \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for ^{226}Ra , $5.9\times 10^{-1} \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for ^{232}Th and $10.0 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for ^{137}Cs .

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the gamma-spectrometric measurement of the 40 water samples from Vojvodina are presented in Table 2. All water samples were sampled by Institute of Public Health of Vojvodina using ISO 5667 [7] standard method and measured in Department of Physics in Novi Sad.

Table 2. Results of radioactivity of drinking water and calculated total dose GD.

No	Water sample	$C_i^{137}\text{Cs}$ [Bq l ⁻¹]	$C_i^{226}\text{Ra}$ [Bq l ⁻¹]	$C_i^{232}\text{Th}$ [Bq l ⁻¹]	$C_i^{238}\text{U}$ [Bq l ⁻¹]	GD [mSv y ⁻¹]
1	Mladenovo	< 0.29	0.69(15)	0.38(14)	1(2)	0.11(4)
2	Nova Gajdobra	< 0.3	0.54(19)	0.22(13)	< 5	0.07(2)
3	Gajdobra	< 0.3	0.77(12)	0.09(9)	< 2.1	0.086(14)
4	Srbobran	< 0.29	0.37(12)	0.27(14)	2.2(25)	0.10(4)
5	Bački Jarak	< 0.3	0.65(18)	0.57(19)	1.1(19)	0.13(4)
6	Temerin	< 0.29	0.32(11)	0.17(12)	2.5(22)	0.09(4)
7	Sirig	< 0.3	0.85(27)	0.37(17)	1.6(19)	0.14(4)
8	Silbaš	< 0.3	0.34(12)	0.06(14)	0.8(22)	0.05(4)
9	Pivnice	< 0.3	0.50(12)	0.38(19)	5.6(23)	0.17(4)
10	Parage	< 0.29	0.38(13)	< 0.13	< 4	0.039(13)
11	Đurđevo	< 0.29	0.78(18)	0.05(14)	3.5(16)	0.14(3)
12	Žabalj	< 0.28	0.66(13)	0.14(15)	1(1)	0.092(25)
13	Čurug	< 0.3	0.3(13)	0.06(15)	2(3)	0.07(5)
14	Neštin	< 0.3	0.33(18)	< 0.15	1.8(11)	0.063(26)
15	Vizić	< 0.3	0.98(18)	0.14(14)	1.7(12)	0.14(3)
16	Novi Sad 1300 kaplara	< 0.29	0.7(3)	0.31(15)	< 1.3	0.10(3)
17	Novi Sad Jožefa Marčoka	< 0.28	0.89(14)	0.17(13)	2.0(19)	0.14(4)
18	Novi Sad Bul. Cara Lazara	< 0.2	0.25(9)	0.2(2)	0.8(8)	0.055(23)
19	Novi Sad, Ribarsko ostrvo	< 0.3	0.79(2)	0.39(14)	0.2(18)	0.12(4)
20	Novi Sad Balzakova	< 0.3	1.05(24)	0.18(15)	2(12)	0.16(3)
21	Novi Sad Narodnog fronta	< 0.28	0.72(15)	0.33(19)	0.1(13)	0.10(3)
22	Novi Sad Alberta Tome	< 0.3	0.70(22)	0.37(14)	< 4	0.103(25)

No	Water sample	C _i ¹³⁷ Cs [Bq l ⁻¹]	C _i ²²⁶ Ra [Bq l ⁻¹]	C _i ²³² Th [Bq l ⁻¹]	C _i ²³⁸ U [Bq l ⁻¹]	GD [mSv y ⁻¹]
23	Petrovaradin	< 0.3	0.16(11)	0.44(16)	0.6(9)	0.063(23)
24	Srbobran 2	< 0.28	0.18(19)	0.04(13)	0.3(13)	0.03(3)
25	Turija	< 0.3	0.58(25)	0.19(16)	5.8(25)	0.17(5)
26	Nadalj	< 0.29	0.54(12)	0.3(4)	0.2(14)	0.08(4)
27	Bački Petrovac	< 0.28	0.45(11)	<0.16	1.6(17)	0.07(3)
28	Kulpin	< 0.3	0.50(16)	0.54(25)	1.6(12)	0.12(3)
29	Bački Maglič	< 0.20	0.70(9)	0.16(1)	1.3(16)	0.106(29)
30	Zmajev	< 0.29	2.2(4)	0.38(12)	0.4(21)	0.26(5)
31	Sremska Mitrovica I	< 0.3	7.8(3)	0.38(2)	2.2(24)	0.87(5)
32	Sremska Mitrovica II	< 0.3	3.67(17)	0.31(9)	4.0(23)	0.47(4)
33	Sremska Mitrovica III	< 0.29	1.36(11)	0.29(1)	0.3(2)	0.17(4)
34	Sremska Mitrovica IV	< 0.3	1.7(13)	0.36(1)	1.9(15)	0.235(29)
35	Sremska Mitrovica V	< 0.3	1.33(16)	<0.08	< 4	0.136(16)
36	Čalma	< 0.3	1.77(14)	0.04(15)	< 4	0.184(19)
37	Divoš	< 0.3	1.79(13)	0.49(1)	< 5	0.224(16)
38	Ležimir	< 0.3	1.58(24)	0.62(11)	0.8(11)	0.23(3)
39	Šuljam	< 0.3	1.01(17)	0.87(12)	2.9(23)	0.22(4)
40	Beš. Prnjavor	< 0.29	1.21(18)	0.29(9)	0.1(2)	0.15(4)

Recommended radionuclide parameters for drinking water assessment for ²²⁶Ra for monitoring is 0.5 Bq l⁻¹, and for intervention is 5.0 Bq l⁻¹ [4]. Comparing the measured result for ²²⁶Ra from Table 2 it can be concluded that activity concentration of ²²⁶Ra in 32 investigated water samples exceeded legally established level for ²²⁶Ra content in drinking water [4,6] from monitoring, and in one sample from Sremska Mitrovica (No. 31, Table 2) exceeded level for intervention [6]. In samples No 9, 11, 25 and 32, ²³⁸U concentration is higher than the reference level of 3.0 Bq·l⁻¹ [6]. Activity concentrations of ²³²Th in two samples (No. 38 and 39, Table 2) are higher than recommended [6]. Radioisotope ¹³⁷Cs in water samples is not detected. In 23 investigated samples total dose GD from radionuclides in drinking water is higher than 0.1 mSv year⁻¹ [4].

CONCLUSION

The radionuclide content of the drinking water samples from Vojvodina region was determined by gamma-spectrometry. The activity concentrations for ^{226}Ra in 32 of investigated samples are higher than the legally established levels for radionuclide content in drinking water in Serbia [6]. In four water samples concentration of ^{238}U is higher than recommended, and in two samples activity concentration of ^{232}Th is higher than the reference value [6]. In 23 investigated samples total dose GD from radionuclides in drinking water is higher than $0.1 \text{ mSv year}^{-1}$ [4]. From the obtained results it can be concluded that these waters are not safe for consumption from radioactivity point of view.

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support of the Provincial Secretariat for Science and Technology Development within the project No. 114-451-2405/2016-03 and Bilateral Scientific Project between Croatia and Serbia „Optimization of methods for radioactivity measurements (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{222}Rn) in environmental samples“.

REFERENCES

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, Exposures from Natural Radiation Sources, Annex B. United Nations, New York; 2000.
- [2] Bikit I., Slivka J., Mrdja D., Zikic-Todorovic N., Curcic S., Varga E., Veskovic M., Conkic Lj. Simple Method for depleted uranium determination. Jpn. J. Appl. Phys 2003;42:5269-5273.
- [3] WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO). Guidelines for drinking water quality, Third Edition, Volume 1, World Health Organization, Geneva; 2004.
- [4] European Commission (EC). European Drinking Water Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal L 330; 1998.
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and the Safety Radiation Sources. Safety Report Series, No. 115, Vienna; 1996.
- [6] Law on Protection against Ionizing Radiation and Nuclear Safety. Official Gazette of the Republic of Serbia 96; 2009.
- [7] International Organisation for Standardization (ISO) 5667-6. Water quality, Sampling, Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams; 2014.

RADIONUCLIDES IN DRINKING WATER AND RISK ASSESSMENT

*Nataša Todorović¹, Jovana Nikolov¹, Sanja Bjelović², Silvija Lučić³,
Ivana Stojković⁴, Andrej Vraničar¹ and Tatjana Ignjić¹*

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²Institute of Public Health of Vojvodina, Novi Sad, Serbia

³Oncology Institute of Vojvodina, Sremska Kamenica, Serbia

⁴University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

Drinking water can contain radioactive isotopes which represent potential risk to human health. In case of nuclear accident and uncontrolled releasing radionuclides from nuclear power plants, it is necessary to rapidly implement control of radioactivity level in the surrounding waters, air and soil.

Method of gamma spectroscopy analysis in scientific research is one of the most common experimental methods for quantitative analysis of radioactivity content in the samples. In this paper content of natural radioactive isotopes: ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U and artificial radioisotope ^{137}Cs in 40 samples of drinking water from the territory of Vojvodina (from water supplies, wells, fountains and from wellsprings) were determined. The annual effective dose due to consumption of these waters was estimated. Based on the results, it was concluded that most samples contain activity concentration of ^{226}Ra over the legally regulated values. In 23 investigated samples, total dose GD from radionuclides in drinking water is higher than $0.1 \text{ mSv year}^{-1}$.

PRIRODNA RADIOAKTIVNOST U PODZEMNIM VODAMA U OKOLIŠU TE PLOMIN

Tomislav Bituh, Dinko Babić, Jasminka Senčar i Gordana Marović

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

tbituh@imi.hr

UVOD

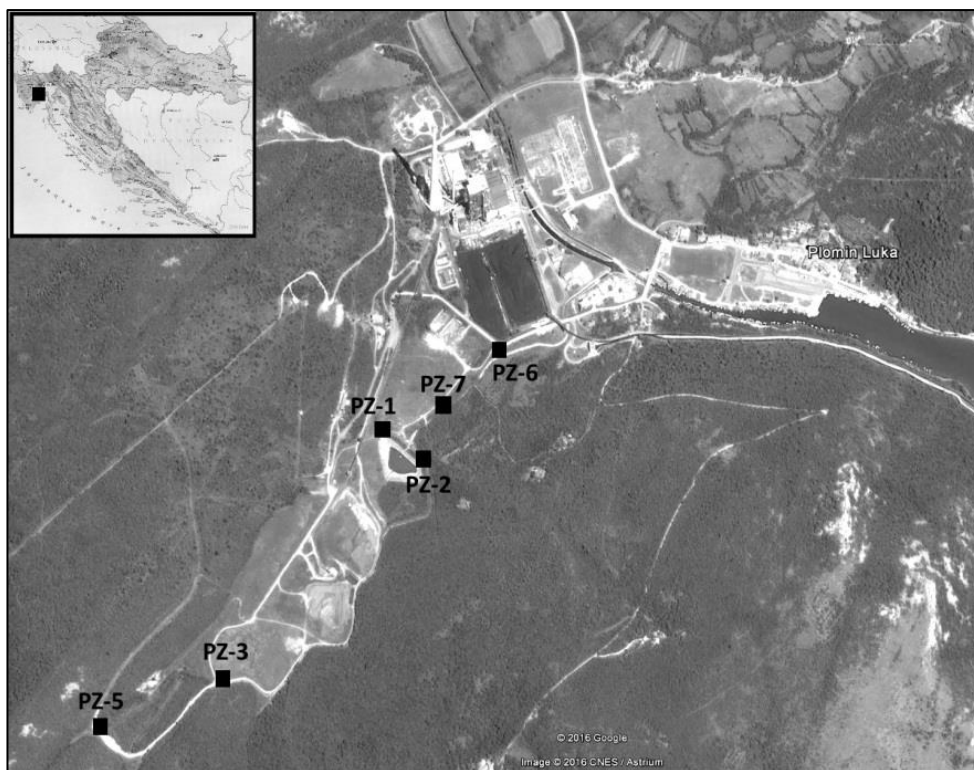
Termoelektrana Plomin smještena je u sredini Plominskog polja, udaljena oko osam kilometara zračne linije od grada Labina. U okolici nema većih stambenih naselja, osim slabije naseljene Luke Plomin (uz TE Plomin je Čepić kanal, čija se voda zajedno s otpadnom vodom iz TE ulijeva u Plominski zaljev). Neposredno uz samu termoelektranu smješteno je odlagalište pepela i šljake. TE Plomin u pogonu je od 1970. godine. Do početka 90-tih godina prošlog stoljeća u termoelektrani se koristio ugljen iz domaćih ugljenokopa (iz Raše) s povišenom prirodnom radioaktivnosti. U tom razdoblju sav se otpad nakon izgaranja odlagao na odlagalište. Zbog povišene prirodne radioaktivnosti pepela i šljake nisu se rabili u cementnoj industriji. Krajem 1990. godine završila je sanacija odlagališta, koja se sastojala od nanošenja zaštitne folije, prekrivanja zemljom i sustavne izgradnje rubnih kanala i kolektora za odvod oborinskih voda [1].

Kako bi se kontrolirala nepropusnost izolacijskih slojeva ispod odlagališta, provode se redovita ispitivanja radioaktivnosti podzemnih voda iz piezometara oko odlagališta pepela i šljake TE Plomin. Na Slici 1 dan je prikaz topografske karte s položajem šest bušotina, piezometara oko odlagališta.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja prirodne radioaktivnosti u uzorcima podzemnih voda iz piezometara tijekom 2013., 2014. i 2015. godine.

MATERIJALI I METODE

Podzemne vode uzorkovane su iz šest piezometara (PZ-1, PZ-2, PZ-3, PZ-5, PZ-6 i PZ-7) smještenih oko odlagališta pepela i šljake na dubinama u rasponu od 9,4 m do 63,9 m (Slika 1). Uzorkovanja podzemnih voda proveli su ovlaštene djelatnici tvrtke zadužene za bušenje na svakoj od lokacija.



Slika 1. Lokacije piezometara na području termoelektrane Plomin.

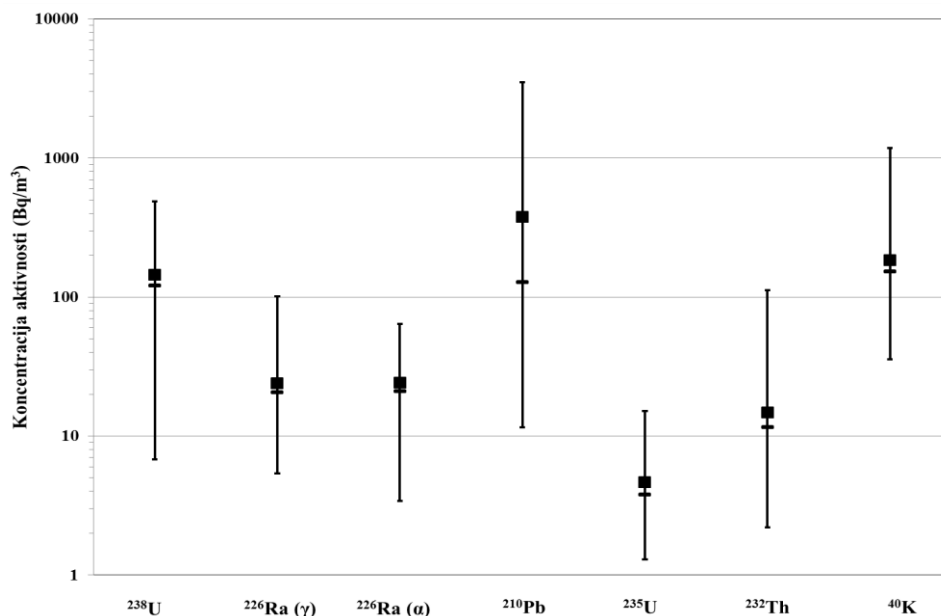
Uzorci podzemnih voda (oko 25 litara) upareni su na volumen od jedne litre i spakirani u Marinelli posude. Svi uzorci mjereni su tek nakon najmanje 30 dana, zbog postizanja sekularne ravnoteže radijevih potomaka. Određivanje radioaktivnosti u uzorcima podzemnih voda provedeno je visokorezolucijskom gamaspektrometrijom. Korišten je detektor HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co . Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, a osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sudjelovanjima u međulaboratorijskim ispitivanjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Zajedničkog istraživačkog centra (JRC) Europske komisije.

Na uzorcima podzemnih voda provedena je također i radiokemijska separacija ^{226}Ra taloženjem s BaSO_4 , a uzorci su mjereni u alfaspektrometrijskom-brojačkom sustavu (Canberra PIPS detektor aktivne površine 450 mm², α -rezolucija 19 keV za ^{241}Am na 5,486 MeV; vrijeme brojanja 80000 s) [2].

REZULTATI

Rezultati određivanja koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u podzemnim vodama iz piezometara prikazani su na Slici 2. Na slici su prikazani sumarni rezultati za sve piezometre. Za radionuklide (^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb i ^{40}K) prikazana je srednja vrijednost, medijan, minimum i maksimum mjerenja tijekom razdoblja od tri godine.

Koncentracije aktivnosti svih radionuklida bile su tijekom sve tri godine mjerenja relativno konstantne. Uspoređujući s istraživanjima provedenima prijašnjih godina [3], rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K se također ne razlikuju značajno.



Slika 2. Koncentracija aktivnosti ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb i ^{40}K (Bq/m^3) u uzorcima podzemnih voda oko odlagališta pepela i šljake.

■ srednja vrijednost; – medijan; ⊥ minimum; ⊤ maksimum;

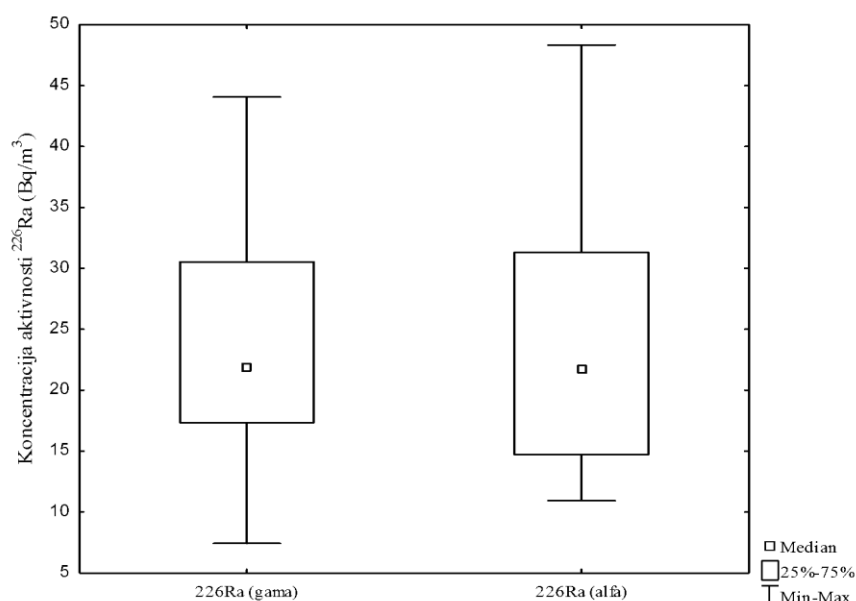
$^{226}\text{Ra} (\gamma)$ – određeno gamaspektrometrijski;

$^{226}\text{Ra} (\alpha)$ – izmjereno specifično radiokemijskom analizom.

Nadalje, obradom podataka nisu pronađene značajne promjene koncentracija aktivnosti svih radionuklida tijekom različitih godišnjih doba. Jedina netipična vrijednost, za slučaj ^{210}Pb , pojavila se početkom 2014. godine kad je izmjereno $3491 \pm 268 \text{ Bq/m}^3$. Razlog može biti posljedica

visoke aktivnosti odloženog pepela i šljake (koja potječe od raškog ugljena) koji se nalaze u donjim slojevima odlagališta.

Na Slici 3 prikazana je usporedba koncentracija aktivnosti ^{226}Ra (Bq/m^3) u uzorcima podzemnih voda, izmjerena dvjema metodama tijekom sve tri godine uzorkovanja. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra određene gamaspektrometrijom kretale su se u rasponu od 7 do 44 Bq/m^3 , te od 11 do 48 Bq/m^3 određena radiokemijskom separacijom. Medijan za obje metode bio je 22 Bq/m^3 . Iako postoje razlike među metodama, možemo zaključiti da se rezultati dobro slažu.



Slika 3. Usporedba koncentracija aktivnosti ^{226}Ra (Bq/m^3), izmjerenih dvjema metodama, u uzorcima podzemnih voda.

ZAKLJUČAK

Uzorci podzemnih voda iz piezometara na prostoru TE *Plomin* nisu radiološki kontaminirani iznad zakonom dozvoljenih vrijednosti obzirom na radioaktivnost i u skladu su s odredbama važećih provedbenih propisa iz područja radioaktivnosti i zaštite od zračenja.

Zaštitni radovi provedene sanacije odlagališta su učinkoviti, provedenom sanacijom postignuta je svrha – učinkovito je sveden utjecaj tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti na odlagalištu pepela i šljake na razinu vrijednosti prirodnih radionuklida u okolišu.

LITERATURA

- [1] Marović G, Senčar J, Bronzović M, Franić Z, Kovač J. Otpad vezan uz proizvodnju električne energije i proizvodnju mineralnih gnojiva. Arh Hig Rada Toksikol 2006;57:333-338.
- [2] USDHEW – United States Department of Health, Education and Welfare. Radioassay procedures for environmental samples 999-RH-27 (5-49); USDHEW, Rockville, Maryland, 1967.
- [3] Marović G, Senčar J, Kovač J, Prlić I. Improvement of the radiological environmental situation due to remedial actions at a coal-fired power plant. J Radioanal Nucl Ch 2004;2:451-455.

NATURAL RADIOACTIVITY OF GROUND WATERS IN THE VICINITY OF THE COAL FIRED POWER PLANT „PLOMIN“

Tomislav Bituh, Dinko Babić, Jasminka Senčar and Gordana Marović

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

tbituh@imi.hr

Coal fired power plant Plomin (CFPP) is situated some eight kilometres from the city of Labin, Istria, Croatia. The CFPP started with production in 1970 and up to year 1990 the coal, which had higher natural radioactivity was used. The ash and slag from the production were deposited at the deposition site in the vicinity of the CFPP. In 1990 the deposition site was remediated, which included foil protection, covering with soil and construction of rain and groundwater drainage. To control the permeability of isolating layers, there is a constant control of groundwater radioactivity. In this paper we report the results of the natural radioactivity of groundwater, sampled during 2013, 2014 and 2015.

The groundwater was sampled from 6 piezometers surrounding the deposition site. Activity concentrations of natural radionuclides were determined using high resolution gamma spectrometry (for ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb i ^{40}K). Additionally, radiochemical method for determination of ^{226}Ra was used.

The results show there is no radioactive contamination of groundwater in the surroundings of the deposition site. The activity concentrations were in accordance with results obtained in previous investigations (2004, 2006). There are some small variations in activity concentrations, so continuous monitoring of groundwater in the area of the CFPP is necessary.

ASSESSMENT OF NATURAL RADIOACTIVITY LEVELS IN BUILDING MATERIALS AND RESIDUES IN SERBIA

*Nataša Todorović, Jovana Nikolov, Miodrag Krmar, Dušan Mrđa,
Slavko Todorović and Predrag Kuzmanović*

University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Natural radioactivity is responsible for most of the total radiation dose received by human population. Building materials and residues can cause substantial radiation exposure if they contain elevated levels of naturally occurring radionuclides. The specific activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in the building raw materials and products mainly depend on geological and geographical conditions and geochemical characteristics of those materials [1].

In the paper, the results of gamma spectroscopy study of 211 zircon, 425 sand, 348 perlite, 2692 cement and 2741 granite samples gathered from different countries were presented and discussed on the basis of relevant national and international legislation and guidance and compared with the corresponding results in the literature.

MATERIALS AND METHODS

The investigated samples of building materials and residues were crushed, homogenized and transferred into containers for measurement. Collected samples were packed in plastic containers (with a diameter of 6.7 cm and a height of 6.2 cm). The mass samples packed in the standard laboratory geometry were up to 300 g. The gamma spectra of the investigated samples were collected up to 4000 s by an HPGe detector, with a 32 % relative efficiency, shielded by 25 cm of pre WWII iron. The activity of each sample was measured for 60 ks. The integral background counting rate (between 30 and 3000 keV) was less than 1.2 counts s^{-1} . The spectra were analyzed using GENIE 2000 program. The detection efficiency was established from certified calibration sources of various origin, geometry, and matrix, among others NBS Standard Reference Material 4350B, and transformed to the sample specific geometry and matrix using the relative effective solid angle method for known detector parameters.

The radiological impact of investigated building materials was evaluated applying activity concentration index I_{RP112} [2]:

$$I_{RP112} = \frac{C(^{226}\text{Ra})}{300 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C(^{232}\text{Th})}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C(^{40}\text{K})}{3000 \text{ Bq kg}^{-1}} \quad (1)$$

The activity concentration index should be used only as a screening tool for identifying materials which might be of concern. Any actual decision on restricting the use of a material should be based on a separate dose assessment.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of gamma spectroscopy study of 211 zircon, 425 sand, 348 perlite, 2692 cement and 2741 granite samples gathered from different countries are presented on Figures 1 - 5.

Raw zircon sand is one of the NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) materials which are widely used in ceramic industries [3]. Zircon contains varying concentrations of ^{238}U , ^{232}Th and ^{235}U and their daughters, and regulated by Directive 2013/59/EURATOM [4]. Radiometric data of 211 zircon samples from 8 different origin countries is given in Figure 1.

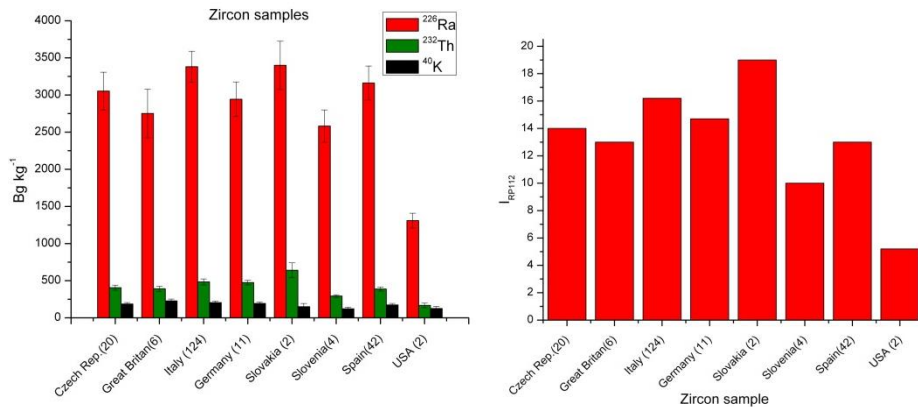


Figure 1. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in zircon samples and I_{RP112} .

Sand is one of the main components in building constructions known to contain naturally occurring radioactive materials [5]. A summary of the data concerning sand samples (425 samples from 8 countries) is shown in Figure 2.

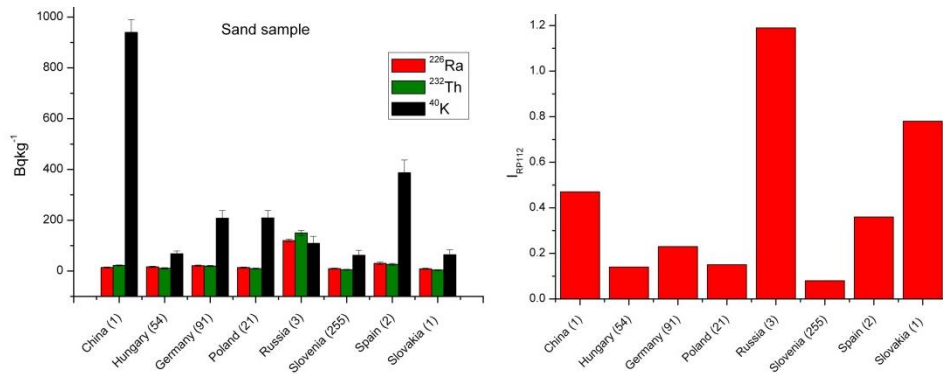


Figure 2. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in sand samples and I_{RP112} .

In the construction and manufacturing fields, perlite is used in lightweight plasters and mortars, insulation and ceiling tiles [6]. An analysis of radioactive content in perlite samples is given in Figure 3, where the data of 348 perlite samples from 6 countries are presented.

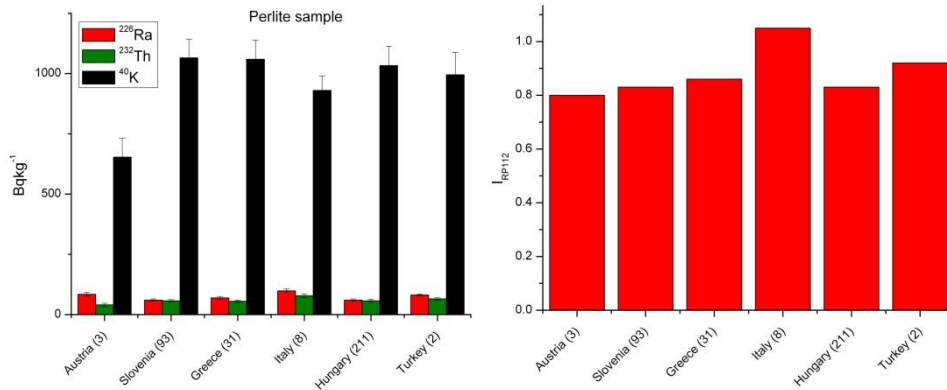


Figure 3. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in perlite samples and I_{RP112} .

The major contribution to radioactivity in concretes is expected to come from cement. Concerning cement samples (2692 samples of 14 different places of origin) presented in Figure 4, the obtained results for average concentrations of radionuclides are comparable with those given in [7].

Some granite has been reported to have higher radioactivity, thereby raising some concerns about their safety. Typical activity concentrations in natural building stones used for building materials in EU for ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K (in Bq kg^{-1}) are 60, 60 and 240; and maximum 500, 310 and 4000, respectively [2]. Figure 5 presents the data of 2741 granite samples from 9 countries.

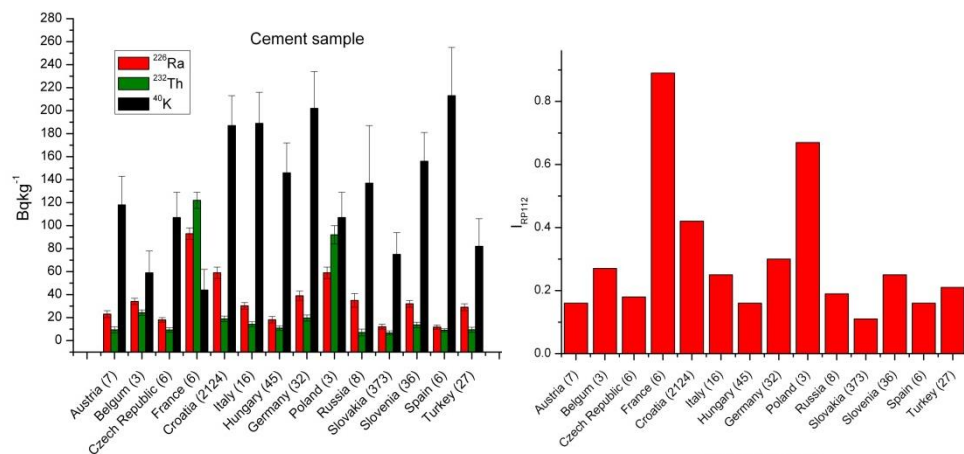


Figure 4. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in cement samples and I_{RP112} .

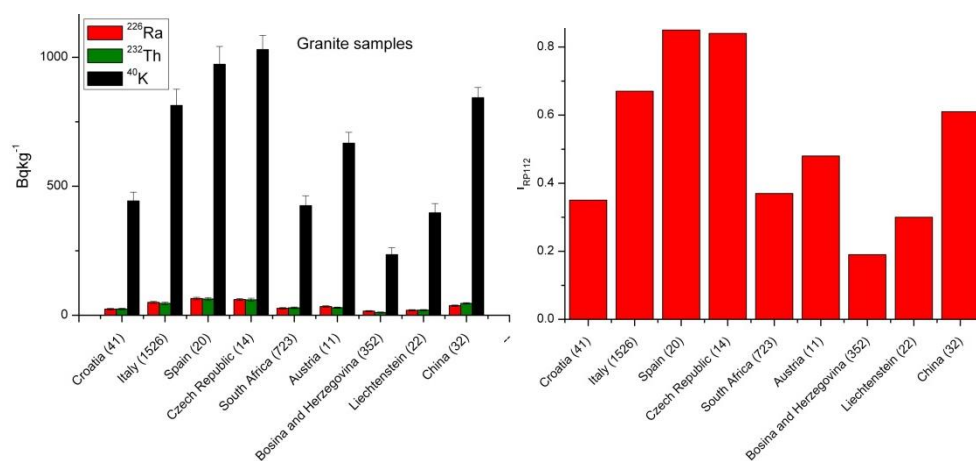


Figure 5. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in granite samples and I_{RP112} .

SUMMARY AND CONCLUDING REMARK

This paper gives information on radioactivity of materials involved in the building industry. The radiometric analysis of 211 zircon, 425 sand, 348 perlite, 2692 cement and 2741 granite samples produced in different countries, was carried out using gamma ray spectrometry. Average values for activity concentration index I_{RP112} ranged from 5.2 (from USA) to 19 (from Slovakia) for zircon samples; for sand samples from 0.08 (sample from Slovenia) to 1.19 (from Russia); for perlite samples from 0.80 (from

Austria) to 1.05 (from Italy); for cement samples from 0.11 (from Slovakia) to 0.89 (from France) and for granite samples from 0.19 (from Bosnia and Herzegovina) to 0.85 (from Spain). These results clearly show that the origin of the raw materials is one of the most important factors that determine the radionuclide activity concentrations in the final products. Due to enhanced content of natural radionuclides, this work confirmed that use of the building materials and residues should be carefully studied by a radiation protection point of view.

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support of the Provincial Secretariat for Science and Technology Development within the project No. 114-451-2405/2016-03 and Bilateral Scientific Project between Croatia and Serbia „Optimization of methods for radioactivity measurements (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{222}Rn) in environmental samples“.

REFERENCES

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, Exposures from Natural Radiation Sources, Annex B. United Nations, New York; 2000.
- [2] European Commission (EC). Radiation protection 112. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1999.
- [3] Ballesteros L, Zarza I, Ortiz J, Serradell V. Occupational exposure to natural radioactivity in a zircon sand milling plant. *J Environ Radioact* 2008;99:1525-1529.
- [4] European Council Directive 2013/59/EURATOM. 5 December 2013.
- [5] Kadum A, Bensaoula A.H, Dahmani B. Radioactivity Investigation of Sand from the Northern Region of Tlemcen-Algeria, Using Well-Shape NaI(Tl) Detector. *Civil and Environmental Research* 213:3(12):171-179.
- [6] Rehspringer J.L, Balencia J, Vilminot S, Burger D, Boos A, Estournes C. Confining caesium in expanded natural Perlite. *J Eur Ceram Soc* 2007;27:619–622.
- [7] Trevisi R, Risica S, D'Alessandro M, Paradiso D, Nuccetelli C. Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance. *J Environ Radioact* 2012;105:11-20.

ASSESSMENT OF NATURAL RADIOACTIVITY LEVELS IN BUILDING MATERIALS AND RESIDUES IN SERBIA

*Nataša Todorović, Jovana Nikolov, Miodrag Krmar, Dušan Mrđa,
Slavko Todorović and Predrag Kuzmanović*

University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

The estimation of the radioactivity levels of materials utilized in construction sectors is crucial in the assessment of possible radiological hazards to human health. In the paper, the results of gamma spectroscopy study of 211 zircon, 425 sand, 348 perlite, 2692 cement and 2741 granite samples gathered from different countries and imported to Serbia were presented. In order to assess the radiological impact from the investigated samples, the activity concentration index I_{RP112} for all samples was ascertained. This research yields insight into the radioactive content in a variety of building materials of different origin. Obtained results were discussed on the basis of relevant national and international legislation and guidance and compared with the corresponding results from the literature.

POVIJESNI PREGLED RADIOEKOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

Gina Branica¹, Zdenko Franić¹ i Branko Hanžek²

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb

gina.branica@imi.hr

UVOD

Svrha ovoga rada jest ukratko prikazati povijesni pregled radioekoloških istraživanja učinka na ljude i okoliš na području Republike Hrvatske.

Radioekologija je grana ekologije koja je usko povezana s radioaktivnom kontaminacijom okoliša budući da proučava učinke radioaktivnih tvari u okolišu, što uključuje istraživanje mehanizama njihove migracije kroz različite ekosustave (atmosferu, tlo, vodu zrak) i hranidbeni lanac. Radioekološka istraživanja uključuju uzorkovanje, eksperimente u prirodi i laboratorijima, razvijanje predikcijskih i simulacijskih modela, dozimetriju i dr.

Radioekologija je stoga multidisciplinarna znanost koja kombinira različite znanstvene discipline kao što su fizika, kemija, biologija, geologija, matematika, medicina, ekologija i druge, primjenjujući koncepte zaštite od zračenja. Radioekološka istraživanja čine osnovu za procjenu doza i procjenu posljedica radioaktivnog zagađenja (kontaminacije) na ljudsko zdravlje.

Radioekologija se kao znanost pojavila krajem 19. stoljeća, odnosno neposredno nakon što je Wilhelm Konrad Röntgen otkrio X-zrake, Antoine Henry Becquerel fenomen radioaktivnosti te Maria Skłodwska Curie identificirala prve prirodne radioaktivne elemente.

Valja napomenuti da su se radioekološka istraživanja stanja radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj, ali i cijeloj tadašnjoj Jugoslaviji, početkom godine 1959., odnosno u vrijeme učestalih pokusnih eksplozija nuklearnog oružja u atmosferi, znatno intenzivirala vezano uz znanstvenu komponentu doktrine javnog zdravstva dr. Andrije Štampara.

MATERIJAL I METODE

Korišteni su podaci i arhivski materijal Jedinice za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada te Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. Također, pretraživanje literature provedeno je korištenjem odgovarajućih baza podataka dostupnih na Internetu, kao što su Google Scholar, Web of Science (WoS), Scopus i sl.

REZULTATI I RASPRAVA

Prvi dostupni dokumentirani podaci o radioekološkim istraživanjima povezani su s mjerenima radioaktivnosti Jadranskog mora koje je još godine 1909. u Opatiji proveo Peter Salcher, profesor na austrougarskoj carskoj i kraljevskoj akademiji u Rijeci. Salcherova istraživanja, koja je on iste godine objavio u tada vrlo cijenjenom časopisu *Monatschriften für Physikalisch-diätetischen Heilmethoden* pobliže su opisana u Zborniku radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja [2]. Mogli bismo reći da se Salcher ne samo upustio u nešto što bismo mogli smatrati pretečom dozimetrijskih razmatranja, već je bio i jedan od pionira uporabe prirodne radioaktivnosti kao obilježivača (*radiotracer*) morske vode, a da to u naravi nije mogao znati.

Već slijedeće godine, u članku objavljenom u časopisu *Viesti Hrvatskog društva društva inženjera i arhitekta*, matematičar Marko Mikšić, uz ostalo, zahtijeva da treba načiniti i zakon o radiju i o zaštiti od njegove razorne sile [3]. Na početku toga članka Mikšić iznosi vrlo zanimljivu tvrdnju: zakoni se ne stvaraju za učene ljude – za doktore prava, već za puk, za narod [4]. Mikšić je tako svojim javnim djelovanjem, postao jedna od prvih, ako ne i prva osoba s područja Hrvatske koja je zahtijevala pravno reguliranje zaštite od zračenja.

Ponovni veći interes za radioekologiju javlja se 1950.-tih godina prošloga stoljeća, a vezuje se uz period hladnoga rata i vojne uporabe nuklearne energije [5]. Intenzivne atmosferske probe nuklearnog oružja prouzročile su pojavu radioaktivnih oborina (*fallout*) i posljedičnu globalnu kontaminaciju biosfere fizijskim radionuklidima. Razvoj radioekologije je stoga povezan s potrebom da se istražuje utjecaj nuklearnih proba na ljude i okoliš.

Sustavna radioekološka istraživanja fizijskih produkata na području Jugoslavije, pa tako i Republike Hrvatske, počela su se provoditi kao dio ekstenzivnog programa monitoringa radioaktivne kontaminacije okoliša koji je započet još godine 1959. Iste godine je na saveznoj razini usvojen Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja o čemu je već nekoliko dana kasnije (19.

travnja 1959. godine) u dnevnim novinama Vjesnik [6] opširan članak objavio akademik Josip Lončar.

Naručitelj radioekoloških istraživanja pod nazivom *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji* je bio ondašnji Državni sekretarijat za poslove narodne obrane, Uprava za civilnu zaštitu Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije. Sređivanje podataka, standardizacija i tehnička obrada provodila se na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu. U predgovoru se napominje da "*praktični interes zaštite od radioaktivnih padalina traži da se prouči formiranje i rasprostiranje radioaktivnih aerosola u atmosferi, objasni zakonitost padanja radioaktivnih produkata na zemljinu površinu, utvrdi količina umjetno stvorenih radioaktivnih elemenata u biosferi, prouči zakonitost rasprostiranja i migracije radioaktivnih materija u životnoj sredini i utvrdi djelovanje fisijskih produkata na raslinje, na organizme životinjskog svijeta i na čovjeka*". Publikacije su se izdavale godišnje, a sadržavale su tabelarne podatke o ukupnoj beta radioaktivnosti u zraku, fallout-u, kopnenim vodama i cisternama, koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u mlijeku, siru i poljoprivrednim proizvodima (krumpir, pšenica, trava) i životinjskim kostima.

Ova istraživanja su za područje Republike Hrvatske u izvedbi Jedinice za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada nastavljena sve do danas i to u opsegu koji se modificirao prema potrebama struke, znanstvenim spoznajama, napretku tehnologije, procijenjenim izvorima opasnosti, te potrebama naručitelja, tj. Ministarstva zdravstva, a kasnije Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Provodi se istraživanje fisijskih radionuklida, (prvenstveno ^{90}Sr i radiocezija) u zraku, oborinama, tlu, rijekama, jezerima, moru, vodi za piće, prehrambenim artiklima i stočnoj hrani. Također, prati se izravno ozračivanje, tj. brzina efektivne doze.

Izvještaji se također objavljuju godišnje (Slika 1), a podaci su vlasništvo DZRNS-a. Međutim, ugovor IMI-a i DZRNS-a predviđa da se podaci mogu koristiti i u znanstvene svrhe tj. za objavljivanje znanstvenih i stručnih radova. U tom kontekstu valja napomenuti da su rezultati radioekoloških istraživanja publicirani u zbornicima Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja (JDZZ), kojih je bilo ukupno 16 do raspada Jugoslavije. Od 1992. godine hrvatski su autori svoje radove prvenstveno objavljivali u zbornicima simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja (HDZZ), kojih je do sada održano 10.

**REZULTATI PRAĆENJA STANJA
RADIOAKTIVNOSTI ŽIVOTNE SREDINE
U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Izveštaj za 2004. godinu



Zagreb, 2005.

*Slika 4. Naslovnica godišnjeg
izvještaja o radioaktivnoj
kontaminaciji životne sredine u RH*

Statistiku radova koji su autori iz Hrvatske objavili u zbornicima JDZZ-a obradio je u Zborniku radova Prvoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja prvi predsjednik HDZZ-a Radoslav Despotović [7] te je procijenio da su iz područja radioekologije hrvatski autori objavili ukupno 73 rada. Naime, zbornici JDZZ-a (za razliku od samih sastanaka) nisu imali jasno definirane sekcije.

U zbornicima HDZZ-a uvedeno je zasebno područje Radioekologija, a u njima su na deset simpozija objavljena ukupno 162 rada od kojih se 110 (68 %) odnose na prve autore iz Republike Hrvatske.

Radioekologija se javlja i kao tema mnogih znanstvenih i tehničkih projekata koje je financiralo Ministarstvo znanosti i Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) kao i privatni naručitelji.

Također, u radioekologiju spadaju i istraživanja koja su prvenstveno obavljali Institut Ruđer Bošković i Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada vezano uz pred-monitoring i monitoring Nuklearne elektrane Krško.

Vezano uz nesreću u nuklearnoj elektrani „Vladimir Iljič Lenjin” u mjestu Čornobilj u bivšoj Sovjetskoj Ukrajini koja se dogodila 26. travnja 1986. godine, zbog koje su se u atmosferu oslobodile velike količine radioaktivnog materijala te prouzročile globalnu kontaminaciju, u Hrvatskoj je objavljeno više izvještaja, a kasnije i veći broj stručnih i znanstvenih radova.

Radioekološka istraživanja bila su tema i mnogih doktorskih disertacija na hrvatskim sveučilištima. Također, svakako valja spomenuti i

mnoge radove hrvatskih znanstvenika s temom iz radioekologije koji su publicirani u međunarodnim časopisima. Međutim, čak i približna procjena broja takvih radova bila bi vrlo zahtjevna.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

Na kraju svakako valja napomenuti da je zahvaljujući inicijativi i dugogodišnjim naporima Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja Nacionalno vijeće za znanost u Pravilnik o znanstvenim i umjetničkim područjima, poljima i granama [8] u polje Interdisciplinarne prirodne znanosti (1.07) uvrstilo i granu *Znanost o zračenju* (1.07.04) u koju spada i radioekologija. Nažalost, još uvijek nije moguće predlaganje projekata iz područja radioekologije jer Nacionalna agencija za znanost ne raspisuje natječaje za *Znanost o zračenju*.

LITERATURA

- [1] Salcher P. Die Radioaktivität des Meerwassers im Golfe von Fiume und Umgebung. *Monatschriften für Physikalisch - diätetischen Heilmethoden*, München 1. Jahrg, 10. Heft, 598-601, Oktober 1909.
- [2] Franić Z, Hanžek B, Branica G, Petrinc B, Marović G. Pregled razvitka radioekologije Jadranskog mora. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10-12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2013. str. 355-359.
- [3] Mikšić M. Kako uplivaju izumi i otkrića na razvitak pravoslovlja (jurisprudencije). *Viesti Hrvatskog društva inženjera i arhitekta* 1910;31(2):99-100.
- [4] Hanžek B, Kren T. Svijet ideja profesora matematike Marka Mikšića i njegovo djelovanje u korist hrvatskoga napretka. *Prirodoslovlje* 2016;1-2:55-88.
- [5] Alexakhin R. Radioecology: history and state-of-the-art at the beginning of the 21st century. In: Cigna AA and Durante M (eds.), *Radiation Risk Estimates in Normal and Emergency Situation*. 2006;159-168.
- [6] Lončar J. Kako se mjere ionizirajuća zračenja. *Vjesnik*, 19.04.1959. str. 8.
- [7] Despotović R. O znanosti u zaštiti od zračenja. U: Zbornik radova Prvog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 24-26. studeni 1992; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 1992. str. 1-7.
- [8] Pravilnik o znanstvenim i umjetničkim područjima, poljima i granama. *Narodne novine* br. 118, 22. rujna 2009.

HISTORICAL OVERVIEW OF RADIOECOLOGICAL INVESTIGATIONS IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Gina Branica¹, Zdenko Franić¹ and Branko Hanžek²

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb, Croatia

gina.branica@imi.hr

The first available documented radioecological research in Croatia can be traced back to the measurements of radioactivity in the Adriatic Sea performed in 1909 in Opatija by Peter Salcher, professor at the Austro-Hungarian Imperial and Royal Academy in Rijeka.

The systematic radioecological research of fission products started in 1959, as part of an extensive monitoring program of radioactive contamination of the environment in Yugoslavia including Republic of Croatia. Radioecological research also includes activities related to the supervision of the Krško Nuclear Power Plant, which began in the 1980s, and in which the Ruđer Bošković Institute and the Institute for Medical Research and Occupational Health were both involved.

Today, the monitoring program of radioactive contamination of the environment in the Republic of Croatia is carried out under the supervision of the State Office for Radiological and Nuclear Safety and has been harmonized with EU practice and recommendations of the European Commission from 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty. Also, radioecological investigations on Croatian territory were the subject of numerous scientific and research projects funded by the Ministry of Science and Technology, International Atomic Energy Agency (IAEA) as well as other public or private partners.

Croatian researchers published numerous scientific or technical papers that are connected to radioecology. In 2009, thanks to the efforts of the Croatian Radiation Protection Association (CRPA), in the regulations on scientific and artistic areas, fields and branches, the field of *Interdisciplinary natural sciences* has been supplemented by the branch of *Radiation science*, which also includes radioecology.

IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA ZRAČENJU

PUBLIC EXPOSURES

BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA U SLAVONSKOM BRODU

*Isabela Tišma¹, Branko Petrinc², Marina Poje Sovilj¹, Marko Šoštarić² i
Branko Vuković¹*

¹Odjel za fiziku Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

petrinc@imi.hr

UVOD

Radionuklidi su prisutni u zraku, vodi i tlu, a mnogi datiraju još od vremena prije nastanka Sunčevog sustava. Zračenje i radionuklidi mogu biti umjetnog porijekla i danas imaju mnogo korisnih primjena. Međutim, ljudsko tijelo nema razvijeno osjetilo za detekciju ionizirajućeg zračenja i upravo zbog toga se često zanemaruju moguće posljedice prekomjerne izloženosti takvoj vrsti zračenja. Iz toga se razvila potreba za ispitivanjem i praćenjem zastupljenosti različitih izvora zračenja prisutnih u našoj okolini. Monitoring okoliša – kontinuirano ispitivanje i praćenje kontaminacije radionuklidima – ovisi o značajkama mjesta u okolišu na kojem se izvode mjerenja, a provodi se kako bi se detektirale promjene u dugoročnim trendovima u koncentracijama aktivnosti ili brzinama doze u okolišu, odnosno radi identifikacije potencijalno opasnih radionuklida. Monitoringom dobivamo potrebne podatke za analizu i evaluaciju kontaminacije okoliša [1].

Nekontroliranim ispuštanjem radionuklida u atmosferu, tlo i vodu iz različitih izvora može doći do povećanog ozračenja stanovništva i okoline, što će rezultirati štetnim posljedicama. Monitoring okoliša je, prema tome, neizostavan za procjenu ozračenosti i predviđanje mogućih posljedica na stanovništvo i okoliš, te kako bi se utvrdile mjere zaštite u slučaju izvanrednih događaja. To nas dovodi do aktualnog problema onečišćenja zraka u Slavonskom Brodu zbog utjecaja rafinerije nafte u Bosanskom Brodu. Mjerne postaje u Slavonskom Brodu nerijetko bilježe prekoračenja satnih graničnih vrijednosti koncentracija određenih plinova i lebdećih čestica u zraku, što predstavlja opasnost za zdravlje tamošnjeg stanovništva i stanje okoliša. Prema "Izvješću o razinama onečišćenosti i ocjeni kvalitete zraka u Slavonskom Brodu za 2016. godinu" [2], kvaliteta zraka na području

grada Slavanskog Broda pripada drugoj kategoriji (onečišćeni zrak), s prekoračenim graničnim vrijednostima za pojedine onečišćujuće tvari.

Ovo istraživanje se sastojalo u mjerenju brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta $H^*(10)$ na području grada Slavanskog Broda, u cilju procjene mogućeg ozračenja stanovništva i ispitivanja potencijalnih izvora ionizirajućeg zračenja na određenim područjima grada (koja su određena Generalnim urbanističkim planom), posebice na području uz rijeku Savu kako bi se ispitaio utjecaj rafinerije nafte u Bosanskom Brodu na ozračenje stanovništva Slavanskog Broda. U konačnici su dobivenim mjernim podacima pridruženi odgovarajući položajni i atributni podaci te je omogućen grafički prikaz unutar GIS (*Geographic Information System*) aplikacije.

MATERIJALI I METODE

Postupak prikupljanja podataka obuhvaća praćenje vrijednosti za brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $H^*(10)$ i bilježenje istih pomoću mjernog uređaja RDS-31 *S/R Multi-Purpose Survey Meter*, na 150 lokacija na otvorenom prostoru u gradu Slavanskom Brodu. RDS-31 je detektor gama i rendgenskog zračenja, koji koristi Geiger-Müllerovu cijev kao primarni detektor, a uz uporabu odgovarajućih vanjskih sondi koristi se i za detekciju alfa i beta zračenja. Može bilježiti vrijednosti $H^*(10)$ u rasponu od 10 nSv/h do 0,1 Sv/h [3].

Tijekom izvođenja mjerenja uzeti su u obzir sljedeći faktori:

- geografski podaci o lokacijama mjerenja
- datum i vrijeme izvođenja mjerenja
- vremenski interval uzorkovanja
- metode provođenja mjerenja
- meteorološki podaci za period izvođenja mjerenja
- poznavanje razine pozadinskog zračenja na ispitivanom području.

Uređaj je postavljen na svaku lokaciju na okvirno vrijeme od 15 minuta (što se smatra dovoljnim vremenom da bi uređaj uspio prikupiti potrebne podatke i da bi se ustabilio rezultat), na visinu od 1 m iznad neobrađene travnate površine, u skladu s Pravilnikom o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu [4].

Uređajem su praćene i bilježene vrijednosti $H^*(10)$, izražene u nSv/h, tijekom srpnja i kolovoza 2016. godine. Pomoću aplikacije OruxMaps bilježene su mjerne točke, kojima su zatim redom pridružene broježane oznake i pripadne GPS koordinate. Preostali bitni parametri, kao što su

meteorološki podaci za vrijeme izvođenja mjerenja, su naknadno, na zahtjev, dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Mjerenja su provedena tijekom dana s podjednakim meteorološkim uvjetima, kako bi anomalije u rezultatima zbog utjecaja vremenskih prilika bile minimizirane.



Slika 1. Karta Slavenskog Broda s naznačenim mjernim lokacijama.

Nakon završetka mjerenja, prikupljeni mjerni podaci objedinjeni su i uneseni u program Quantum GIS radi njihove daljnje obrade. Ovdje su mjerenja pridružena svojim lokacijama i prikazana su grafički u projekcijskom referentnom sustavu HTRS96/TM (Slika 1). Karta grada Slavenskog Broda preuzeta je s Geoportala Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, a dokument s geoprostornim podacima o vanjskim granicama grada i podjelom na određena područja dobiven je na zahtjev od Zavoda za prostorno uređenje Brodsko-posavske županije.

REZULTATI

Dobivena je prosječna vrijednost za brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta

$$\dot{H}^*(10) = (80,0 \pm 1,0) \text{ nSv/h.}$$

Vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta u Slavonskom Brodu su u okviru prosječnih vrijednosti za Republiku Hrvatsku [5]. Na području uz rijeku Savu maksimalna izmjerena vrijednost iznosi 110 nSv/h. Povišene vrijednosti, u odnosu na srednju vrijednost u Slavonskom Brodu, uočene su i na urbanom području centra grada, također u iznosu od 110 nSv/h.

Kako bismo utvrdili jesu li dobivene povišene vrijednosti povezane s ispuštanjem dimnih čestica i plinova iz rafinerije Brod izvršena su ponovna mjerenja na 7 lokacija. Rezultati ponovljenih mjerenja su jednaki ili za oko 15 % manji od prvotnih mjerenja.

Sukladno dobivenim rezultatima, možemo zaključiti da neposredna blizina rafinerije vjerojatno nije uzrok povišenih vrijednosti za ambijentalnu brzinu doze na području uz rijeku Savu i u centru grada. Međutim, to ne možemo potvrditi sa sigurnošću, zbog nedostatka podataka o samom izvoru, a u obzir je potrebno uključiti i znatno veći broj čimbenika.

ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta u Slavonskom Brodu pokazuju da nema većih odstupanja između pojedinih područja grada (određenih prema GUP-u), te da ne prelazi prosječnu vrijednost za Republiku Hrvatsku [5]. Ipak, između pojedinih mjernih točaka uočene su manje razlike u rezultatima, koje su najvjerojatnije posljedica različitih meteoroloških prilika u periodu provođenja mjerenja. Dobivena odstupanja na nekim mjestima mogu biti i rezultat očekivanog povećanog zračenja zbog utjecaja prirodnih radionuklida. Obje hipoteze su provjerene ponovljenim mjerenjima na lokacijama s većim mjernim rezultatima. Nisu uočene značajne razlike u rezultatima, što dovodi do zaključka da nema vanjskih radioaktivnih polutanata, te da su rezultati mjerenja varijacije osnovnog zračenja.

LITERATURA

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. Safety Guide No. RS-G-1.8. Vienna: IAEA; 2005.
- [2] Upravni odjel za graditeljstvo, prostorno uređenje i zaštitu okoliša. Izvješće o razinama onečišćenosti i ocjeni kvalitete zraka u Slavonskom Brodu za 2016. godinu. Slavonski Brod; 2017.
- [3] Mirion Technologies (RADOS) – Health Physics Division. RDS-31 S/R Multi-Purpose Survey Meter. User's Manual Doc. No. 2096 6082, Ver. 2.1.
- [4] Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu (2013) *Narodne novine*, br. 121, Zagreb
- [5] Marović G, Avdić M, Babić D, Bituh T, Branica G, Franić Z, Franulović I, Kolar M, Petrinc B, Petroci LJ, Senčar J, Skoko B. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2012-2015. godinu. Izvještaj IMI-CRZ, Zagreb 2013-2016.

AMBIENT DOSE EQUIVALENT RATE IN THE CITY OF SLAVONSKI BROD

Isabela Tišma¹, Branko Petrinc², Marina Poje Sovilj¹, Marko Šoštarić² and Branko Vuković¹

¹J. J. Strossmayer University of Osijek, Department of Physics, Osijek, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
petrinc@imi.hr

This report contains the results of measuring ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ using gamma radiation detector RDS-31 S/R Multi-Purpose Survey Meter, on 150 external locations in the city of Slavonski Brod, Croatia. Data were recorded during the period from July, 2016 to August, 2016.

The primary focus of this research was to examine existence of significant deviations in the data recorded throughout different city areas (which are established by the General Urban Plan), and also to verify if they are in the range of average values for Croatia. The measurements were taken 1 meter above the ground (soil) with sampling time of 15 minutes per location.

The data recorded shows that there are no fluctuations between individual areas that exceed the range of permitted limits (the results vary from 50 nSv/h to 110 nSv/h). However, it was observed that some of the recorded data was slightly higher in relation to others that were recorded in the same area. This was most probably caused by different meteorological conditions during the measurement period, or that specific points represent places of expected radiation exposure (as the result of increased radiation from natural radionuclides). To confirm these claims, we repeated the measurements in the locations where deviations were unexpected. The repeated measurements did not differ significantly from others within proximity as previous measurements indicated, therefore we conclude that there were no external radioactive sources.

^{137}Cs I ^{90}Sr U MLIJEKU OSJEČKE REGIJE

Iva Franulović, Branko Petrinc, Tomislav Bituh i Milica Kolar
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
iva.franulovic@imi.hr

UVOD

Umjetni radionuklidi, kao što su ^{137}Cs i ^{90}Sr , nalaze se u okolišu uz prirodne radionuklide kao posljedica nuklearnih proba, primjene nuklearne tehnologije u različitim sektorima ljudske djelatnosti te radioloških nesreća. Zbog toga se oni mogu naći i u raznim namirnicama koje ulaze u hranidbeni lanac, pa tako i u mlijeku, koje je jedna od osnovnih živežnih namirnica ljudi.

Praćenje koncentracije aktivnosti radionuklida kao što su ^{137}Cs i ^{90}Sr u hrani, pa tako i u mlijeku, vrlo je važno jer njihova prisutnost predstavlja potencijalnu opasnost za ljudski organizam zbog svojih dugih vremena poluraspada ($T_{1/2}(^{137}\text{Cs}) = 30,17$ god; $T_{1/2}(^{90}\text{Sr}) = 28,78$ god) te zbog kemijskih i metaboličkih sličnosti s kalijem i kalcijem.

Jedinica za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada provodi praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Aktivnost radionuklida određuje se visokorezolucijskom gamaspektrometrijom i radiokemijskim metodama u različitim uzorcima iz okoliša, uključujući i uzorke mlijeka.

Cilj ovog rada je prikazati rezultate određivanja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr u mlijeku osječke regije u petogodišnjem periodu, od 2011. do 2015. godine, te iz podataka procijeniti efektivne doze za odraslu populaciju.

MATERIJALI I METODE

Mlijeko se skuplja kao dnevni uzorak, a potom spaja u mjesečni. Mjesečni se uzorci suše pod infracrvenim lampama do suhog, zatim spaljuju na otvorenom plamenu, te za gamaspektrometrijsko određivanje žare na $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ u mufolnoj peći do pepela. Uzorak se zatim pakira u kutijicu određenog volumena. Gamaspektrometrijski sustav temelji se na HPGe detektoru (FWHM $2,2\text{ keV}$ na $1,33\text{ MeV}$ ^{60}Co relativne efikasnosti od 74% na $1,33\text{ MeV}$ ^{60}Co). Kalibracija energije i efikasnosti gamaspektrometra provedena je uz pomoć kalibracijskih izvora Češkog metrološkog instituta. Metoda je akreditirana po normi HRN EN ISO/IEC 17025. Osiguranje

kvalitete provodi se sudjelovanjem u međunarodnim međulaboratorijskim usporedbama u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Zajedničkog istraživačkog centra (JRC) Europske komisije. Vrijeme mjerenja je najmanje 80000 sekundi.

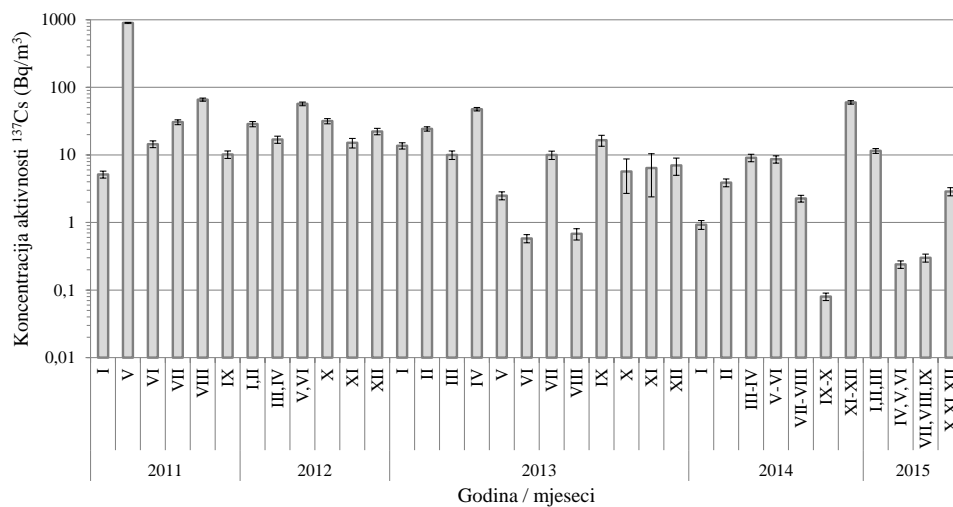
Za analizu ^{90}Sr uzorak se žari u mufolnoj peći na 650 °C. Alikvot pepela otopi se u dušičnoj kiselini, te se standardnom metodom ekstrakcije TBP-om uz dodatak itrijevog nosača određuje ^{90}Sr temeljem radioaktivne ravnoteže s ^{90}Y koji se mjeri u antikoincidentnom beta brojaču niskog osnovnog zračenja model RISØ GM-25-5. Vrijeme mjerenja uzoraka je najmanje 84000 sekundi.

REZULTATI

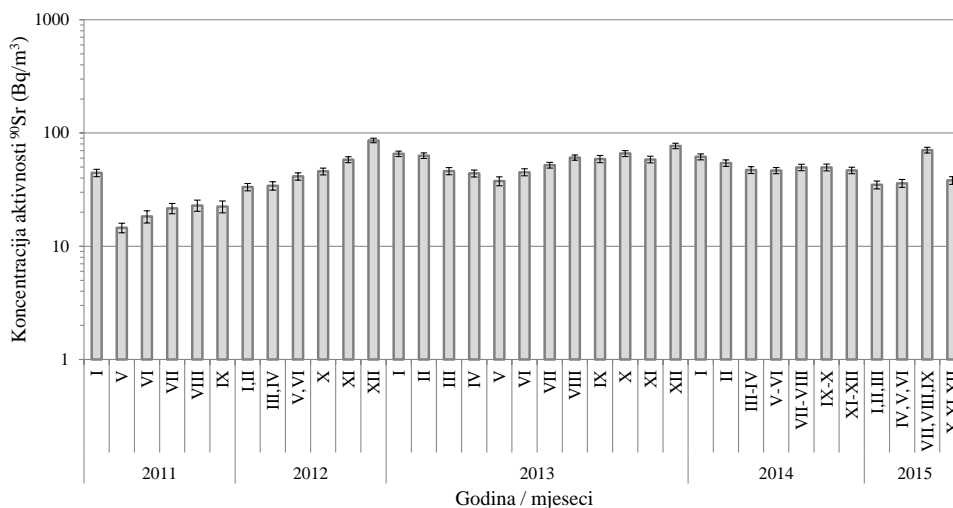
Na Slici 1 prikazane su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mlijeku osječke regije izmjerene u razdoblju od 2011. do 2015. godine. Mjesečne vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs kretale su se od 0,08 Bqm⁻³ do 900,62 Bqm⁻³ koja je izmjerena u svibnju 2011. godine [1]. Upravo ta koncentracija aktivnosti bitno odskače od uobičajenih vrijednosti, te znatno pridonosi vrijednosti procijenjene efektivne doze zračenja od unosa mlijeka za tu godinu.

Na Slici 2 prikazane su izmjerene koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u mlijeku osječke regije u razdoblju od 2011. do 2015. godine. Vrijednosti koncentracije aktivnosti ^{90}Sr kretale su se u rasponu od 14,56 Bqm⁻³ do 86,08 Bqm⁻³ [1].

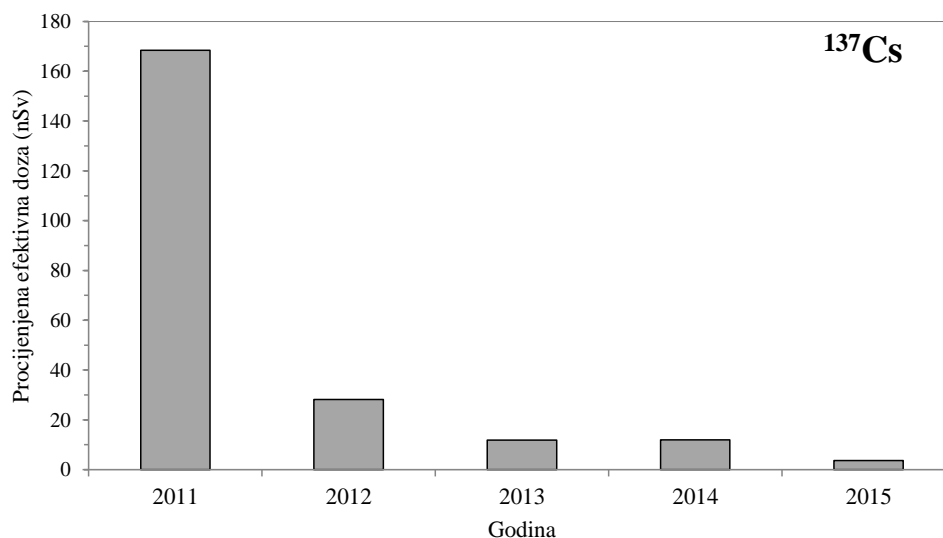
Procijenjena efektivna doza (Sv) dobivena konzumiranjem mlijeka kroz određeno razdoblje ovisi o aktivnosti radionuklida prisutnih u mlijeku te o potrošnji mlijeka po stanovniku, koja prema statističkom ljetopisu Državnog zavoda za statistiku RH iz 2013. godine iznosi 75,7 litara [2]. Obzirom da je to posljednji statistički ljetopis koji je sadržavao ovu informaciju, taj podatak je iskorišten za procjenu efektivne doze i za ostale godine. Za procjenu efektivne doze također su korišteni faktori očekivane efektivne doze po jedinici unesene aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr gutanjem za odraslu osobu [3]. Na Slikama 3 i 4 prikazane su procijenjene efektivne doze zračenja od unosa ^{137}Cs i ^{90}Sr mlijekom za odraslu populaciju.



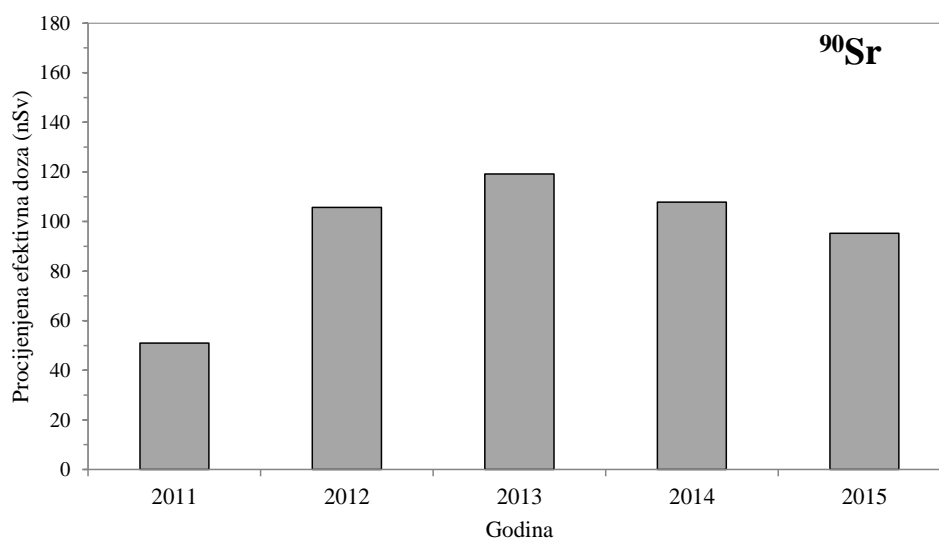
Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mlijeku osječke regije.



Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u mlijeku osječke regije.



Slika 3. Procijenjena efektivna doza zračenja od unosa ^{137}Cs mlijekom.



Slika 4. Procijenjena efektivna doza zračenja od unosa ^{90}Sr mlijekom.

Procijenjena efektivna doza zračenja od unosa ^{137}Cs mlijekom za 2011. godinu iznosi 168 nSv i za red veličine je veća od procijenjenih efektivnih doza za ostale godine. Takvoj procijenjenoj dozi najviše je pridonijela visoka koncentracija aktivnosti izmjerena u svibnju 2011. godine. Ako procijenimo efektivnu dozu zračenja samo za taj mjesec,

vidimo da ona iznosi 73,8 nSv. Vrijednosti za ostale četiri godine kretale su se u rasponu od 4 nSv do 28 nSv. Obzirom da se te godine u ožujku dogodio akcident u Fukushima, te da je uz ^{137}Cs u uzorku pronađen i ^{134}Cs , jedno od mogućih objašnjenja za takvo povećanje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs je upravo kontaminacija uzrokovana tim akcidentom. Povećanje aktivnosti koncentracije ^{137}Cs zabilježeno je i u mlijeku zagrebačke regije u mjesecu kolovozu 2011. godine [4].

Procijenjena efektivna doza zračenja od unosa ^{90}Sr mlijekom je ujednačena kroz godine i nema velikih odstupanja u koncentracijama aktivnosti kroz mjesece.

ZAKLJUČAK

Iako koncentracije aktivnosti i procijenjene efektivne doze zračenja od unosa ^{137}Cs i ^{90}Sr mlijekom za razdoblje od 2011. do 2015. godine ne predstavljaju značajno opterećenje za populaciju osječke regije, potrebno je kontinuirano praćenje radioaktivnosti u hrani i okolišu kako bi se uz stanovništvo zaštitio i okoliš od negativnih učinaka ionizirajućeg zračenja. Od posebne je važnosti pratiti izvanredne događaje koji bi mogli uzrokovati povišenje koncentracije radionuklida u okolišu.

LITERATURA

- [1] Marović G i suradnici. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2011. – 2015. godinu. Izvještaji IMI-CRZ-92, IMI-CRZ-93; IMI-CRZ-94, IMI-CRZ-95, IMI-CRZ-96, Zagreb 2012-2016.
- [2] Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2013, Državni zavod za statistiku RH, prosinac 2013.; str. 196.
< http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2013/sljh2013.pdf>
- [3] International Atomic Energy Agency Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation protection and safety of radiation sources. International Basic Safety Standards No.GRS Part 3. Vienna: IAEA; 2014.< http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf>
- [4] Franulović I, Petrinc B, Kolar M. ^{137}Cs i ^{90}Sr u mlijeku zagrebačke regije. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10. do 12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2013. Str. 211-215.

^{137}Cs AND ^{90}Sr IN MILK FROM THE OSIJEK REGION

Iva Franulović, Branko Petrinc, Tomislav Bituh and Milica Kolar
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
ifranulovic@imi.hr

Radioactivity measurements and monitoring of the human environment in Croatia are part of the monitoring programme carried out by the Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb. Among other radionuclides and samples, this includes radiostrontium and radiocaesium in milk.

The objective of this paper was to present and discuss the activity concentrations of ^{137}Cs and ^{90}Sr in milk collected in the Osijek region in five consecutive years (from 2011 to 2015).

The ^{137}Cs activity concentrations ranged from 0.08 Bq m^{-3} to 65.88 Bq m^{-3} , except for May 2011 when an activity concentration of 900.62 Bq m^{-3} was measured. This high value contributed to a higher effective dose for 2011. The ^{90}Sr activity concentration ranged from 14.56 Bq m^{-3} to 86.08 Bq m^{-3} .

The average activity concentration for each year and radionuclide was calculated and the effective doses received from milk consumption were estimated for the adult population of the Osijek region. The effective doses received from ^{137}Cs uptake by milk consumption ranged from 4 nSv up to 168 nSv for 2011. This effective dose was one order of magnitude higher than the effective doses for the four other years. The effective doses received from ^{90}Sr uptake by milk consumption ranged from 51 nSv to 119 nSv.

Continuous control and monitoring of radioactivity in food and the environment are necessary to detect possible future changes in radioactivity levels in the environment. This will result in the protection of the population from the negative effects of ionizing radiation.

CEZIJ U MESU MEDVJEDA KAO IZVOR DOZNOG OPTEREĆENJA LJUDI U HRVATSKOJ

*Gordana Marović¹, Slaven Reljić², Zdenko Franić¹, Mak Avdić¹,
Božena Skoko¹, Đuro Huber² i Jasminka Senčar¹*

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

marovic@imi.hr

UVOD

Divljač kao jedna od glavnih sastavnica prirodnog okoliša osjetljiva je komponenta biosfere pomoću koje se mogu prikupiti podaci o prostornoj i vremenskoj razdiobi i trendovima onečišćenja okoliša [1]. S obzirom na način života i prehrane, isključivo na otvorenom, divljač može akumulirati fišijske produkte i nekoliko puta više u odnosu na domaće životinje. Te vrste tako postaju bioindikator radioaktivne kontaminacije, a često su zbog velike akumulacije radioaktivnih tvari neprikladne za ljudsku prehranu. U Hrvatskoj je smeđi medvjed (*Ursus arctos*) autohtona životinja koja nastanjuje područja Like i Gorskog kotara. Smeđi je medvjed po tjelesnoj građi mesožder, nalazi se pri samome vrhu hranidbenog lanca. Prehrambene potrebe zadovoljava u 95% slučajeva biljnom hranom. U proljeće jede medvjedi luk, kozlac, razne trave, djetelinu, ljeti razno korijenje i plodove voća. U jesen bukvice, žir i kesten predstavljaju glavni izvor za stvaranje potkožnog masnog tkiva potrebnog za prezimljavanje u hibernaciji u periodima bez dostupne hrane. Rado jedu med i ličinke pčela pa znadu i provaljivati u pčelinjake i na taj način raditi štete u poljoprivredi [2].

U radu su prikazane koncentracije aktivnosti radiocezij u mesu medvjeda. Posebno su značajne, iako iznosom male, detektirane koncentracije aktivnosti ¹³⁴Cs, budući da taj radionuklid u normalnim okolnostima nije prisutan u prirodi te se, nakon nesreće u Čornobilju ponovo pojavio u okolišu nakon nesreće u nuklearnoj elektrani Fukushima-Daiichi u Japanu u ožujku 2011. godine [3].

Procijenjena je efektivna doza koju primi pojedinac prosječne i kritične populacije na temelju podataka o koncentracijama aktivnosti [4], podacima Državnog zavoda za statistiku [5] i podacima Hrvatske agencije za hranu [6] o prehrambenim navikama stanovništva u Hrvatskoj te literaturnim podacima o doznim konverzijskim faktorima [7].

Procijenjeni su doprinosi efektivnoj dozi zračenja ingestijom ^{137}Cs i ^{134}Cs , na osnovu koncentracija aktivnosti koje su izmjerene u uzorcima mesa. Ovaj rad pokušaj je da se na primjeru razlika u prehranbenim navikama prosječnog odraslog stanovnika RH i pripadnika kritične populacije (lovci i njihove obitelji) i koncentracijama aktivnosti odabranih radionuklida u lokalnim namirnicama pokaže važnost i nužnost individualizacije doznih izračuna s jedne strane i potrebitost spoznaja o provedbi kontrola samih namirnica s druge strane.

Prikazani rezultati dio su istraživanja radioaktivne kontaminacije medvjeda provedenih u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu, u suradnji s Veterinarskim fakultetom u Zagrebu, kao dio proširenog programa praćenja stanja radioaktivnosti uzoraka životne sredine na teritoriju RH.

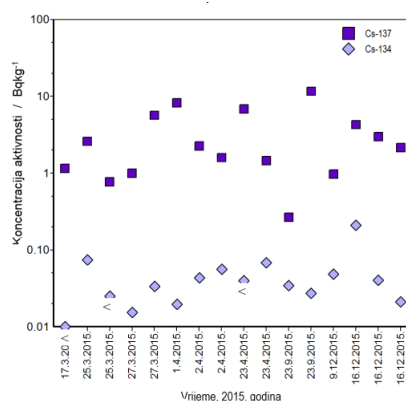
MATERIJAL I METODE

U suradnji s Veterinarskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu, tijekom 2015. godine sakupljani su uzorci stradalih ili izlovljenih medvjeda. Meso drugih domaćih životinja (svinje, goveda, perad) uzorkovano je na farmama na prostoru Hrvatske. Uzorci su sušeni na $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, usitnjeni, umrvljeni, potom spaljivani u mufolnoj peći na $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dobiveni pepeo je potom spakiran u plastične posudice za mjerenje. Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, metodom akreditiranoj prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišteni su detektori: Ge(Li) detektor ORTEC rezolucije $1,78\text{ keV}$ na $1,33\text{ MeV}$ ^{60}Co i relativne efikasnosti od $16,8\%$ na $1,33\text{ MeV}$ ^{60}Co i HP GMX detektor ORTEC rezolucije $2,2\text{ keV}$ na $1,33\text{ MeV}$ ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74% na $1,33\text{ MeV}$ ^{60}Co . Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta. Osiguranje kvalitete provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Zajedničkog istraživačkog centra Europske komisije (JRC).

REZULTATI

Dosadašnjim istraživanjima koncentracije aktivnosti radiocezija u divljači pokazano je da je radiocezij prisutniji u divljači negoli u domaćim životinjama kao i da divljač zbog načina prehrane akumulira radiocezij stalno prisutan u okolišu i godinama poslije nesreće u Čornobilju. Također, detektirana je pojava i ^{134}Cs u uzorcima medvjedeg mesa poslije nuklearne nesreće u Fukushimi u Japanu 2011. godine. Vrijednosti koncentracija

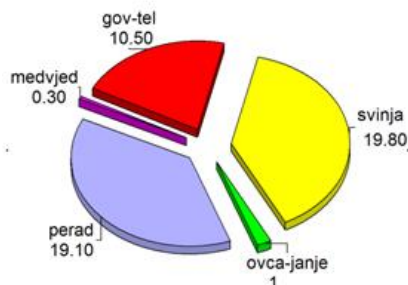
aktivnosti ^{134}Cs vrlo su niske, na granici detekcije ili ispod nje. U 2015. godini vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs kretale su se od $0,27 \pm 0,02$ do $11,6 \pm 0,1 \text{ Bqkg}^{-1}$ uz prosjek od $3,4 \text{ Bqkg}^{-1}$. Izmjerene vrijednosti veće od vrijednosti granica detekcije za ^{134}Cs kretale su se od $0,02 \pm 0,01 \text{ Bqkg}^{-1}$ do $0,07 \pm 0,02 \text{ Bqkg}^{-1}$ uz prosjek od $0,05 \text{ Bqkg}^{-1}$. Na Slici 1 prikazano je kretanje koncentracija aktivnosti radiocezijia tijekom 2015. godine.



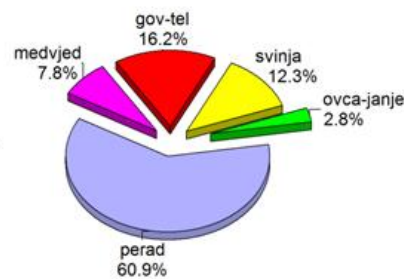
Slika 1. Koncentracije aktivnosti radiocezijia u uzorcima mesa medvjeda tijekom 2015. godine.

Na temelju koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs , izmjerene u uzorcima mesa medvjeda tijekom 2015. godine procijenjen je doprinos radiocezijia efektivnoj dozi zračenja za opću kao i kritičnu populaciju koja konzumira medvjede meso. Posebno je interesantan doprinos ^{134}Cs , budući da se on pojavio u uzorcima iz okoliša ponovno nakon nesreće u Fukushima. Interesantan je podatak da je najniža koncentracija aktivnosti radiocezijia u mesu medvjeda zabilježena u jedinki „Viktor“, medvjedu koji je proveo većinu života u splitskom zoološkom vrtu te je 2015. godine bio prebačen u Kuterevo, u sklonište za medvjede gdje je i uginuo. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs od $0,27 \pm 0,02 \text{ Bqkg}^{-1}$ manja je od koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u npr. piletini iz Osijeka $0,43 \pm 0,06 \text{ Bqkg}^{-1}$.

Podatke o potrošnji pojedinih namirnica u Hrvatskoj svake godine objavljuje Državni zavod za statistiku. Međutim, za potrošnju divljači se u statističkim ljetopisima za 2012, 2013, 2014. i 2015. godinu ponavljaju vrijednosti iz ljetopisa za 2011. godinu [5]. Prosječna godišnja potrošnja mesa divljači po stanovniku kroz sve te godine iznosi 0,3 kg. Na žalost, divljač nije razvrstana po vrstama. Za potrebe procjene doze pretpostavili smo da je sva unesena divljač medvjede meso.



Slika 2. Godišnja potrošnja u kg pojedine mesne namirnice za odrasloga stanovnika Hrvatske.



Slika 3. Procijenjeni doprinosi efektivnoj dozi unosom radiocezija ingestijom pojedine mesne namirnice za odrasloga stanovnika Hrvatske.

Budući da je znanstvena studija Hrvatske agencije za hranu [6] usmjerena na potrošnju divljači i kod kritične populacije (npr. lovci i njihove obitelji) načinjena je analiza i korištenjem njihovih podataka. Za procjenu izloženosti korišteni su podaci o konzumaciji mesa divljači i tjelesnoj masi odraslih stanovnika Hrvatske.

Tablica 1. Procijenjeni doprinosi efektivnoj dozi primljenoj unosom cezija ingestijom mesa divljači, odnosno medvjeda.

	Godišnji unos mesa divljači / kg	Godišnja efektivna doza unosom cezija / μSv	
	po HAH [7]	od ^{137}Cs	od ^{134}Cs
Minimum	0,1	0,005	0,0001
Prosjek	13,3	0,583	0,012
95 percentil	70,5	3,079	0,064
99 percentil	107,7	4,706	0,098
Maksimum	116,9	5,105	0,107
	po DZS [4]		
	0,3	0,013	0,0003

Veliki rasap vrijednosti potrošnje mesa divljači, od 0,32 g/dan do 320 g/dan, što je količina vezana uz lovce i članove njihovih obitelji, dakle uz kritičnu populaciju, uz pretpostavku da je sve uneseno meso divljači meso medvjeda, rezultira vrlo velikim rasapom u procjeni doprinosa koncentracije aktivnosti cezija efektivnoj dozi zračenja (Tablica 1).

U 2015. godini je na osnovu podataka o godišnjoj potrošnji procijenjena godišnja efektivna doza od unosa cezija i drugim namirnicama. Tako npr. na godišnjoj razini unos ^{137}Cs piletinom doprinosi efektivnoj dozi 104 nSv, svinjetinom 21 nSv, govedinom i teletinom 28 nSv.

ZAKLJUČAK

Medvjedi kao divlja vrsta u našoj blizini dobri su pokazatelji radioaktivne kontaminacije. Za bolje tumačenje uočenih razlika potrebna su daljnja sustavna istraživanja medvjeda, kao i ostale divljači koja bi uključila cijeli prehrambeni lanac divljih životinja, ali i kvalitetu njihovog prirodnog staništa uz praćenje i drugih parametara (npr. meteoroloških i hidroloških). Takva istraživanja omogućit će bolje poznavanje prirodnog sustava i proširivanje spoznaja o prostornim i vremenskim razdiobama fisijske aktivnosti (kontaminacije) u svim sastavnicama okoliša.

Zahvala

Autori se zahvaljuju Ljerki Petroci na pomoći. Uzorci su sakupljeni u okviru LIFE DINALP BEAR projekta. Sufinanciranje projekta provode Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske, NVO Euronatur iz Njemačke i zaklada Bernd Thies iz Švicarske.

LITERATURA

- [1] Marović G. The role of bioindicators in assessing radioactive contamination. *Arh hig rada toksikol.* 1990;41:371-378
- [2] Huber Đ, Jakšić Z, Frković A, Štahan Ž, Kusak J, Majnarić D, Grubešić M, Kulić B, Sindičić M, Majić Skrbinišek A, Lay V, Ljuština M, Zec D, Leginja R, Francetić I. Plan gospodarenja smeđim medvjedom u Republici Hrvatskoj. Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, Uprava za lovstvo i Ministarstvo kulture, Uprava za zaštitu prirode. Zagreb, 2008.
- [3] Sugiyama G, Nasstrom J, Pobanz B, Foster K, Simpson M, Vogt Ph, Aluzzi F, Homann S. Atmospheric dispersion modelling: Challenges of the Fukushima-Daiichi response. *Health Phys.* 2012;102(5):493-508.
- [4] Marović G, Avdić M, Babić D, et al. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2015. godinu. Izvještaj IMI-CRZ-96, Zagreb 2016.
- [5] Statistički ljetopis 2011. Državni zavod za statistiku Zagreb, 2012.
- [6] Knežević D, Hengl B. Znanstveno izvješće o određivanju granica za poduzimanje mjera za olovo i kadmij u medu, mesu divljači i kunića (određivanje najvećih dopuštenih količina olova i kadmija u medu, mesu divljači i kunića). Znanstvena studija Hrvatske agencije za hranu (HAH), Zagreb 2015.
- [7] IAEA Revision of the Basic Safety Standards International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. (<http://www-ns.iaea.org/standards/review-of-the-bss.htm>)

CAESIUM IN BEARS AS A SOURCE OF RADIOLOGICAL EXPOSURE OF PEOPLE IN CROATIA

*Gordana Marović¹, Slaven Reljić², Zdenko Franić¹, Mak Avdić¹,
Božena Skoko¹, Đuro Huber² and Jasminka Senčar¹*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Faculty of Veterinary Medicine of University of Zagreb, Zagreb, Croatia

marovic@imi.hr

The study was conducted by the Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb in collaboration with the Faculty of Veterinary Medicine of University of Zagreb, as part of an extensive monitoring programme of the Croatian environment. Samples collected in 2015 from brown bears that were accidentally killed or culled were analysed by gamma-spectrometry to determine ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs activity concentrations. In 2015, ¹³⁴Cs activity concentrations were found to be very small, near the values of the detection limits and could be attributed to the Fukushima-Daiichi nuclear accident of March 2011.

The average ¹³⁷Cs activity concentration in brown bear meat was found to be $3.4 \pm 1.5 \text{ Bqkg}^{-1}$ and that of ¹³⁴Cs $0.05 \pm 0.02 \text{ Bqkg}^{-1}$. The estimation of the effective dose incurred by game meat ingestion was made for an adult member of the general population in Croatia, assuming that all of the ingested meat (0.3 kg per year according to the Croatian Bureau of Statistics) originated from bears. The annual effective dose due to ¹³⁷Cs intake was assessed to be 13 nSv and due to intake of ¹³⁴Cs only 0.3 nSv.

For the dose assessment of critical populations, i.e. hunters, data from studies by the Croatian Food Agency (CFA) were used. An adult person consumes on average 36.55 g (0.32 - 320 g) of game meat daily. Using CFA data, the average annual meat consumption contributed to an effective dose of 0.58 µSv (5 nSv - 5.1 µSv) from ¹³⁷Cs and 12 nSv (0.1 - 107 nSv) from ¹³⁴Cs. For comparison, the intake of ¹³⁷Cs from consumption of poultry contributed to an annual effective dose of 104 nSv, pork 21 nSv and beef or veal 28 nSv.

This study was an attempt to demonstrate the importance and need for the individualization of dose assessment calculations and food control based on the nutritional habits of the average consumer and activity concentration of a certain radionuclide on the local level.

DISPERSION OF LIQUID EFFLUENTS FROM NPP IN SAVA RIVER

*Gašper Razdevšek¹, Benjamin Zorko¹, Simon Širca² and
Jasmina Kožar Logar¹*

¹Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

²Faculty of Mathematics and Physics, Ljubljana, Slovenia

benjamin.zorko@ijs.si

INTRODUCTION

During everyday routine operations, gaseous and liquid emissions (discharges) of radioactive materials from nuclear power plants (NPP) are released into the environment under planned and controlled conditions. The discharges are monitored on-site and off-site. The activity concentrations of released radionuclides in the environment (off-site) are usually below the detection limits, therefore, the influence on the human and non-human population can be evaluated only indirectly from the data on the released liquid and atmospheric effluents (in-site). Various models which describe the dispersion of radionuclides in the environment via various exposure pathways are used in such cases.

To estimate the activity concentrations of the radionuclides downstream the Sava river due to the liquid discharges from the Krško NPP, a modified IAEA SRS-19 model was adopted in 2003 [1-5]. The in-site measured values enter as the input data for the model. Related to the inventory of the Krško NPP liquid discharges, only tritium activity concentration in Sava river can be detected above the detection limit. Thus, ³H measured values could serve as the key element for the comparison of modelled and the measured data. In this study we took detailed in-site measured data to calculate the activity concentration of ³H in Sava river using the model. The calculated values were compared with off-site ³H measurement results at Krško, Brežice and Jesenice na Dolenjskem sampling sites obtained from 2009 to 2015. Various hydraulic and hydrodynamic parameters of the Sava river were considered. To validate the fit, the ³H measurement results obtained by the case study carried out in 2008, where the liquid discharge was tracked downstream at several other locations, were used.

MATERIAL AND METHODS

Continuous sampling of Sava river is performed at three locations, namely, Krško (3.2 km upstream from NPP), Brežice (8.2 km downstream from NPP, same riverbank as is the discharge) and Jesenice na Dolenjskem (17.5 km downstream from NPP, the opposite riverbank as is the discharge). The activity from these samples is measured on a monthly basis. The measured increment of the activity (Bq/m³) at Brežice and Jesenice na Dolenjskem is gained by subtracting the measured value at Krško from their measured values. Sampling points, sampling and analytical methods are described in [1-5].

The monthly increment of the activity was calculated on a daily and on a monthly basis. With an assumption of complete mixing the increment on a monthly basis is

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{qt} \quad (1)$$

where A_i is the discharged activity (Bq), N is the number of discharges, q is the mean river flow rate (m³/s) and t is the duration of that month (in seconds). The increment on a daily basis is

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N A_i/q_i}{t} \quad (2)$$

where q_i is the mean river flow rate on the day of the discharge. The increment calculated on a daily basis is considered more accurate and is referred to as calculated increment later on.

In 2008, 90 samples of the Sava River were obtained in the tracking experiment on the day of tritium release which lasted about 3 hours [6]. Sampling was performed at 6 locations and samples were obtained in 15 min intervals. Location 0 was upstream of the release point and locations 1 – 5 were 0.35 km, 0.85 km, 2.3 km, 3.8 km and 7.8 km from the discharge, respectively. At the locations from 1 to 4 the samples were taken on the same riverbank as is the discharge while the samples at the location 5 were taken from the middle of the river flow from a bridge in Brežice.

COMSOL Multiphysics [7], a finite element analysis, solver and simulation software was used to fit a 2D model to these measurements.

There is no difference between a 2D and a 3D model once complete vertical mixing is reached. The assumed vertical dispersion coefficient D_z of the Sava river is of the order of 0.01 m²/s (estimate based on [8]). If we define the criterion for complete mixing as

$$\frac{C_{max} - C_{min}}{C_{max}} < 0.05 \quad (3)$$

The complete vertical mixing at a depth of 2 m is reached at a distance less than 200 m when $D_z = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$. If mixing due to the dam is also taken into account, it is safe to assume that complete vertical mixing is reached before the first measuring location and the use of a 2D model is justified.

The liquid emissions into Sava river are around 80 m before the dam. The three-compartment model consists of a compartment with slow mixing before the dam, a compartment with fast mixing right after the dam followed by a compartment with normal mixing from there on. The two-compartment model joins the compartments before and right after the dam into one compartment with higher mixing than normal.

RESULTS

The average difference between calculated and measured increment of the activity at Brežice is $(-200 \pm 400) \text{ Bq/m}^3$ and $(300 \pm 300) \text{ Bq/m}^3$ if the three measurements, which are much lower than expected (Jan. 2012, March 2012 and Sept. 2013), are not taken into account. Both differences are small and suggest that complete mixing has been reached or is very close (Figure 1).

The correlation between river flow rate and the difference between measured and calculated increment was tested and no significant correlation was observed (Pearson correlation coefficient $r = 0.08$).

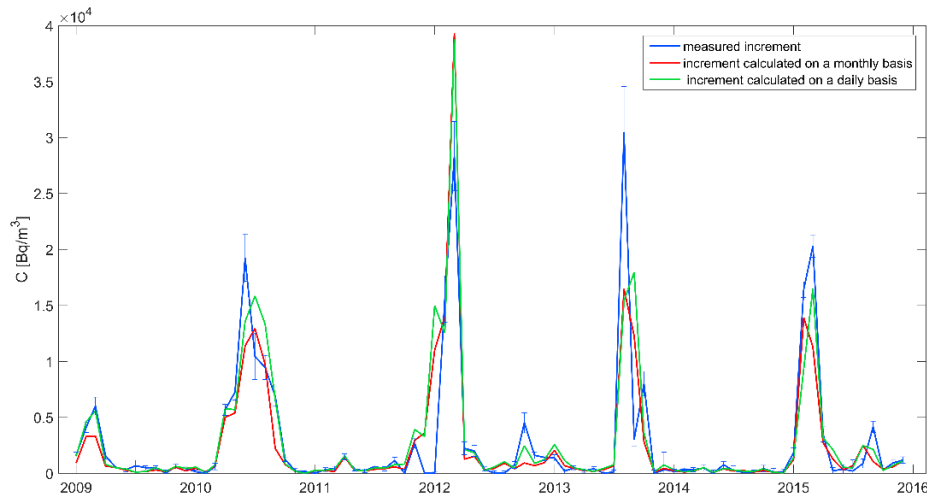


Figure 2. Comparison of measured and calculated increment of activity at Brežice.

The average ratio between the measured and the calculated increment of activity, also called the dilution ratio, at Jesenice na Dolenjskem is 0.57 ± 0.03 (Figure 2). The distance from the NPP to Brežice is roughly the same as from the Krka affluent (same riverbank as is the sampling at Jesenice na Dolenjskem) to Jesenice na Dolenjskem. The dilution ratio at Brežice is practically 1 so this indicates a huge role the dam has on the mixing.

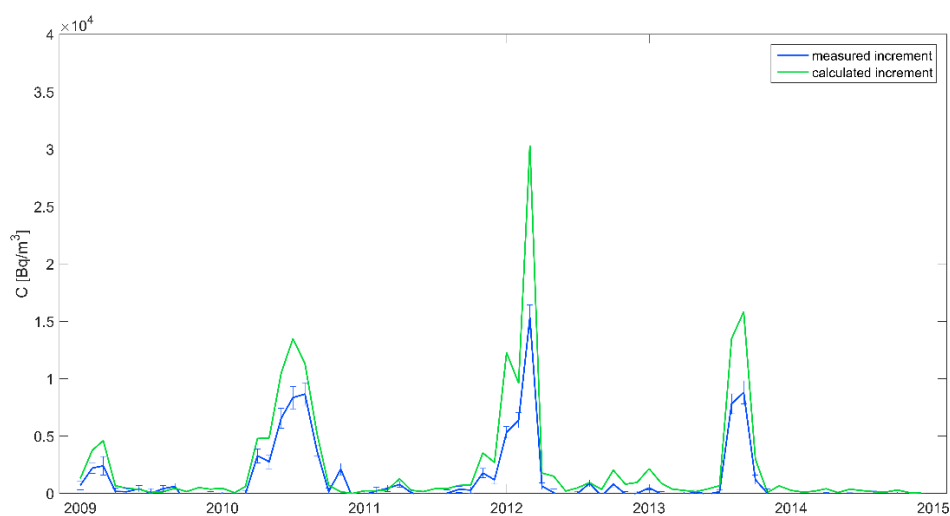


Figure 3. Comparison of measured and calculated increment of activity at Jesenice na Dolenjskem. Increment is calculated on a daily basis and takes daily flows of both the Sava and the Krka river into account.

Figure 3 demonstrates that results from the 3 compartment model can be very well approximated with the 2 compartment model and the use of a compartment before the dam is unnecessary. The changes in lateral dispersion coefficient D_y affect the heights of the time activity curves while changes in longitudinal dispersion coefficient D_x mainly affect their shapes. Smaller D_x results in a more rectangular-shaped time activity curves (Figure 4). The changes in flow velocity in the model with appropriate dispersion coefficient adjustment result in a time shift of the time activity curves. All the measured heights of time activity curves can not be well fitted with a 2 compartment model. The measurements suggest that there is/was slower mixing between locations 2 and 3 or faster mixing between locations 3 and 4, although there does not seem to be an obvious cause that would support either of these theories. The measurements from location 5 were not taken into account because their values were 30-40% lower than values of total

mixing. The value of total mixing is the limit of the model at location 5 except if a very small lateral dispersion coefficient is used so that the discharge barely reaches the sampling point in the middle of the flow. In this case a model would predict very small measured differences between locations 1 – 4 and would not fit the measurements. Even if total mixing does not occur up to the location 5 (Brežice), the values in the middle should be very close to those of total mixing if the discharge spreads through the whole width of the river.

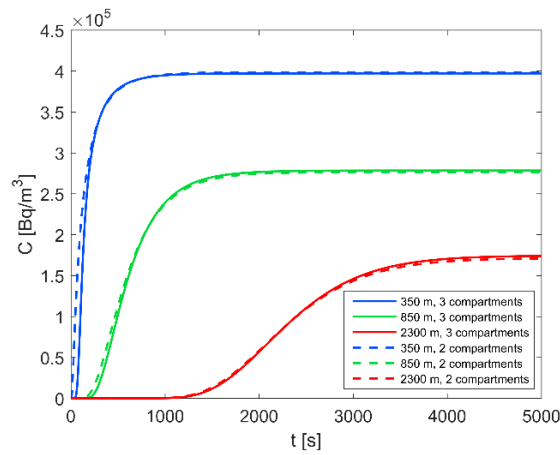


Figure 4. Comparison of a 3 and a 2 compartment model.

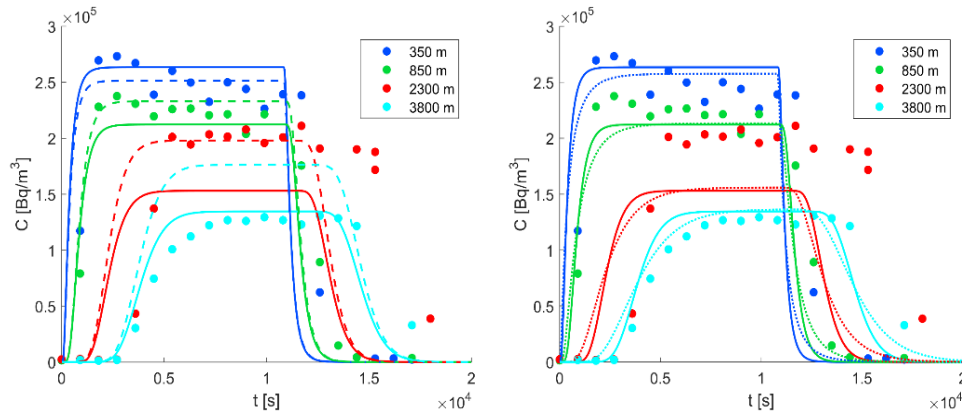


Figure 5. Effect of changing the lateral D_y (left picture) and longitudinal D_x (right picture) dispersion coefficient on the time activity curve at different distances from the discharge. The points are the measurements and different line styles are model predictions at different dispersion coefficients.

If the discharge traveled in a very narrow region close to the riverbank with very slow dispersion, the measurements from other locations would not be that different. One possible explanation is that the discharge traveled in a very narrow region and moved away from the riverbank (samples were taken 2 – 3 m from the bank) but only spread a little to the middle of the river flow at the location 5. This scenario would make our current model insufficient and in need of improvement.

CONCLUSION

Complete vertical mixing probably occurs immediately after the NPP dam. Continuous sampling at Brežice suggests that complete lateral mixing likely occurs before Brežice, while the study of tritium measurements along the Sava river at location 5 does not support this theory and suggests that our current model might be improved.

Simultaneous sampling on both sides of the riverbank and at multiple locations along the bridge at Brežice is suggested. It could resolve this issue and give us a better insight into dispersion of liquid effluents.

REFERENCES

- [1] Zorko B, et. al. Characteristics and dose assessment of the population around Krško NPP, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2015, pp 114, ISBN 978-961-264-082-8
- [2] Zorko B, et. al. Radioactivity measurements in the environment and at the source and the dose assessment, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2014, ISBN 978-961-264-054-5
- [3] Zorko B, et. al. Reporting and assessment of airborne and liquid imissions and external radiation measurements around Krško NPP, 1st edition, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2013, ISBN 978-961-264-049-1
- [4] Zorko B, et. al. Comparison of imission measurements of radioactivity around the Krško NPP and Slovenia, 1st edition, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2012, ISBN 978-961-264-042-2
- [5] Zorko B, et. al. Dose assessment of the population around Krško NPP, 1st edition Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2010, ISBN 978-961-264-016-3
- [6] Kožar Logar J, Vodopivec T. Tritium measurements along the Sava river. HDZZ - CRPA: Zagreb 2015. 263-267.
- [7] COMSOL Multiphysics®. 2006. Version 3.3. COMSOL, Inc., Burlington, MA, USA.
- [8] IAEA, SRS-19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Vienna, 2001

DISPERSION OF LIQUID EFFLUENTS FROM NPP IN SAVA RIVER

*Gašper Razdevšek¹, Benjamin Zorko¹, Simon Širca² and
Jasmina Kožar Logar¹*

¹Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

²Faculty of Mathematics and Physics, Ljubljana, Slovenia

benjamin.zorko@ijs.si

To estimate the activity concentrations of the radionuclides downstream the Sava river due to the liquid discharges from the Krško NPP, a modified IAEA SRS-19 model was adopted in 2003. The in-site (WMT and SGBD water) measured values enter as the input data for the model. Related to the inventory of the Krško NPP liquid discharges, only tritium activity concentration in Sava river can be detected above the detection limit. Thus, ^3H measured values could serve as the key element for the comparison of modelled and the measured data. In this study we took detailed in-site measured data to calculate the activity concentration of ^3H in Sava river using the model. The calculated values were compared with off-site ^3H measurement results at Krško, Brežice and Jesenice na Dolenjskem sampling sites obtained from 2009 to 2015. Various hydraulic and hydrodynamic parameters of the Sava river were considered. To validate the fit, the ^3H measurement results obtained by the case study carried out in 2008, where the liquid discharge was tracked downstream at several other locations, were used.

It was found out that complete vertical mixing in Sava river probably occurs immediately after the NPP dam. Continuous sampling at Brežice suggests that complete lateral mixing likely occurs before Brežice, while the study of tritium measurements along the Sava river at location 5 (old bridge in Brežice – Prešernova cesta) does not support this theory and suggests that our current model might be improved.

RADON

RADON

RADON IN WATER MEASUREMENT – DIFFERENT LSC METHODS

Jovana Nikolov¹, Ivana Stojković², Nataša Todorović¹ and Srđan Vuković¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Radon originates from the radioactive decay of naturally occurring uranium and radium deposits. Radon is picked up by groundwater passing through rocks and soil containing such radioactive substances; it enters water supplies when this water is pumped up into a well. Some radon stays in the water [1]. The European Commission recommends for ^{222}Rn , that a reference level should be appointed above an activity concentration of 100 Bq l^{-1} , and with radon activity concentrations above 1000 Bq l^{-1} measures are justified [2].

Monitoring of ^{222}Rn in drinking water sources is part of the routine analysis carried out by many environmental laboratories [3]. Liquid Scintillation Counting (LSC) method is very often preferred method for measuring of ^{222}Rn in water. The main advantage of this method is that it allows multiple sample automatic analysis and the measurements show very low detection limits. One more advantage is that very small volume of sample is needed for this kind of measurement. The LSC technique for radon in water measurements allows the processing of a large number of environmental samples with minimal handling and has the advantage that samples are collected in situ, thereby avoiding radon loss by emanation [4]. Liquid scintillation counter equipped with an alpha–beta discriminator allows a rapid and simple determination of ^{222}Rn [5].

This paper deals with comparison of two different methods: “one-phase” and “two-phase” methods. Evaluation of presented methods was based on obtained Calibration Factors (*CF*) and achieved Minimal Detectable Activity (*MDA*). Comparison of presented methods, accuracy and precision as well as different scintillation cocktail’s performance was considered from results of measurements of ^{226}Ra spiked water samples with known activity.

MATERIALS AND METHODS

For the calibration purposes for radon in water measurements from by LSC, EPA Method 913.0(7) [6] was used. The calibration samples were prepared with aqueous ^{226}Ra standard in glass 20 ml vials and counted on ultra-low background spectrometer Quantulus 1220TM equipped with Pulse Shape Analysis (PSA) circuit which discriminates alpha/beta spectra. The spectra were acquired by WinQ and analyzed by Easy View software by Perkin Elmer.

For sample preparation we used 4 different LSC cocktails. For the “one-phase” method we used Ultima Gold AB (UGAB) scintillation cocktail. The one-phase method assumes direct mixing of 10 ml sample with 10 ml of emulsifying cocktail. The two-phase method involves usage of water-immiscible cocktails, in this case we used 3 different LSC cocktails: High Efficiency Mineral Oil Scintillator (MOS), Opti-Fluor O (OFO) and Ultima Gold F (UGF). For calibration purposes we used distilled water as a sample and different volumes of ^{226}Ra standard.

Since calibration procedure is carried out with ^{226}Ra standard, which has both alpha and beta progenies, it is clear that PSA discriminator has vital importance in order to provide reliable and precise spectra separation. Consequently, calibration procedure was done through investigation of PSA discriminator level influence on ^{222}Rn CF [6], using ^{226}Ra calibration standard in wide range of activity concentrations (Figure 1), left for 1 month after preparation to reach radioactive equilibrium.

PSA variation impacts the CF value which then impacts calculated ^{222}Rn activity of sample. The most important is to keep PSA parameter fixed during CF determination and sample counting, in which case PSA value itself does not influence ^{222}Rn determination [7]. PSA values varied in range 30 to 90, with the step of 10.

According to the EPA Method [6], CF ($\text{min}^{-1} \text{pCi}^{-1}$) can be calculated as follows:

$$CF = \frac{S-B}{C \cdot V} \quad (1)$$

where S (min^{-1}) is the counting rate of standard, B (min^{-1}) is background count rate, C (pCi l^{-1}) is the concentration of ^{226}Ra standard and V (l) is volume of standard used. The MDA values are calculated according to:

$$MDA = \frac{2.83 \sqrt{B/T_B}}{CF \cdot D \cdot V} \quad (2)$$

where T_B (min) is the background counting time, D is decay correction factor for ^{222}Rn between time of the collection and midpoint of counting period.

RESULTS

The obtained results for CF dependence of PSA value for different LSC cocktails used are shown in Figure 1.

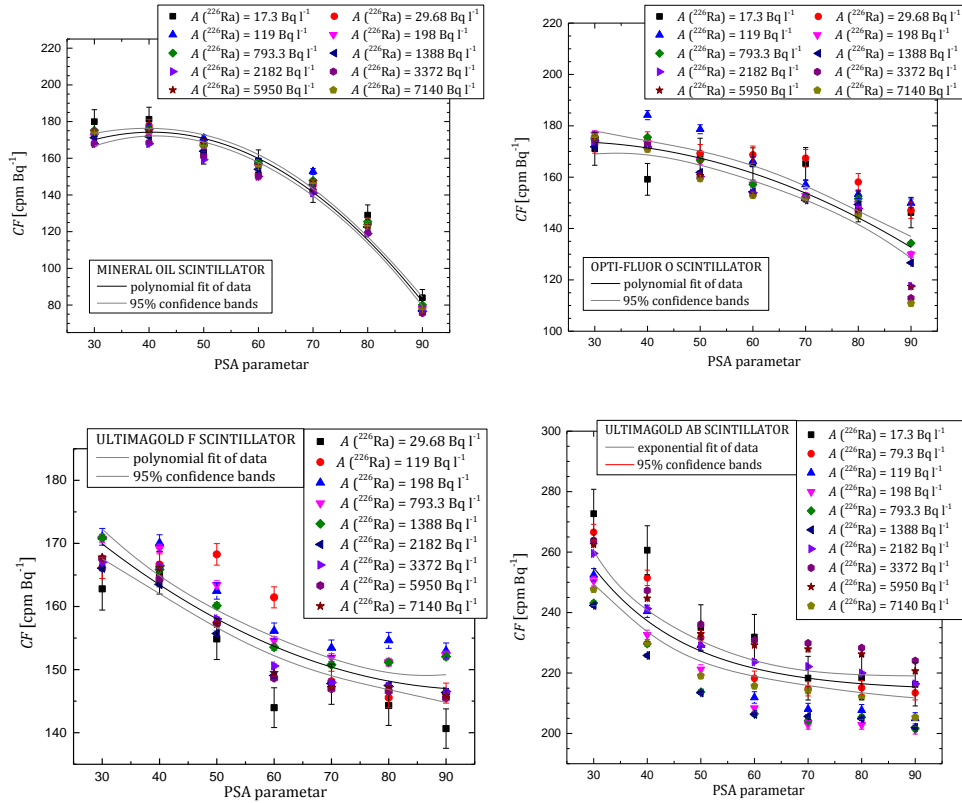


Figure 1. CF dependence of different concentrations of ^{226}Ra standard of PSA value.

In Table 1 the results of MDA values, together with optimal window setup in the alpha spectrum for all 4 LSC cocktails are presented. The presented MDA values are for optimal PSA parameter of 70 and for counting time of 300 minutes.

The method's evaluation on ^{226}Ra spiked samples for PSA = 30 for all 4 cocktails are shown in the Table 2.

Table 1. Optimal window setup and *MDA* values for 4 used cocktails.

LSC cocktail	Optimal window in alpha spectrum [channels]	<i>MDA</i> [Bq l⁻¹]
UGAB	600 - 790	0.064
UGF	830 - 970	0.112
MOS	725 - 875	0.106
OFO	760 - 910	0.204

Table 2. Method's evaluation on ²²⁶Ra spiked samples, PSA = 30.

LSC cocktail	CF [min⁻¹ Bq⁻¹]	A(²²⁶Ra) 49.34 Bq l⁻¹	A(²²⁶Ra) 158.7 Bq l⁻¹	A(²²⁶Ra) 1785 Bq l⁻¹	A(²²⁶Ra) 3967 Bq l⁻¹
UGAB	255 ± 5	47.8 ± 1.1 z = -2.0	151.6 ± 3.2 z = -2.2	1679 ± 33 z = -3.2	4216 ± 83 z = +3.0
UGF	170 ± 3	49.5 ± 1.2 z = -0.4	169.3 ± 3.3 z = +3.2	1760 ± 31 z = -0.8	3619 ± 64 z = -5.4
MOS	170 ± 5	49.9 ± 1.5 z = -0.05	164 ± 5 z = +1.0	1845 ± 49 z = +1.2	4187 ± 111 z = +2.0
OFO	173 ± 5	51.0 ± 1.7 z = +0.6	164 ± 5 z = +1.0	1810 ± 53 z = +0.5	4139 ± 120 z = +1.4

CONCLUSION

According to the Standard Quench Parameter (SQP) the most stable were samples prepared with UGF cocktail. From Figure 1, we can conclude that the change of PSA value had the great effect on the value of *CF* for MOS cocktail. The obtained *MDA* values for all 4 cocktails are very low, as it is presented in the Table 1, much below the recommended reference level for ²²²Rn in drinking water [2]. The presented example in the Table 2, for method's evaluation for PSA = 30, showed that the best agreement between spiked activities and measured ones is for the cocktails MOS and OFO, which both belong to the “two-phase” method (absolute z-values for all prepared activities below 2.0). But, from the other side also LSC cocktail UGF belongs to the “two-phase” method and the obtained results for this cocktail on the PSA = 30 value were very good for 2 activities of ²²⁶Ra standard (49.34 Bq l⁻¹ and 1785 Bq l⁻¹) and bad for the rest 2 activities

(158.7 Bq l⁻¹ and especially for 3967 Bq l⁻¹). For the UGAB cocktail which is miscible cocktail and therefore belongs to “one-phase” method the obtained results for all 4 spiked activities of ²²⁶Ra for PSA = 30 were not in good agreement with prepared activities (z-score above ±2.0, only for the lowest activity z-score was equal to -2.0).

Funding

The authors acknowledge the financial support of the Provincial Secretariat for Science and Technology Development within the project “Radioactivity in drinking water and cancer incidence in Vojvodina” No. 114-451-2405/2016-03 and Bilateral Scientific Project between Croatia and Serbia „Optimisation of methods for radioactivity measurements (³H, ¹⁴C, ⁹⁰Sr, ²²²Rn) in environmental samples“.

REFERENCES

- [1] Todorović N, Nikolov J, Forkapić S, Bikit I, Mrđa D, Krmar M, Vesković M. Public exposure to radon in drinking water in SERBIA. *Appl. Radiat. Isot.* 2012;70:543-549.
- [2] European Commission (EC). Commission recommendation of 20th December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water, 2001/982/Euratom, L344/85; 2001.
- [3] Salonen L. Comparison of two direct LS methods for measuring ²²²Rn in drinking water using α/β liquid scintillation spectrometry, *Appl. Radiat. Isot.* 2010;68:1970-1979.
- [4] Galan Lopez M, Martin Sanchez A, Gomez Escobar V. Application of ultra-low level liquid scintillation to the determination of ²²²Rn in groundwater, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2004;261(3):631-636.
- [5] Khalid Abdulaziz A, Sayeed Alghamdi A, Fahad Ibrahim A, Shafiqul I. Measurement of radon levels in groundwater supplies of Riyadh with liquid scintillation counter and the associated radiation dose, *Radiat. Prot. Dosim.* 2013;154(1):95-103.
- [6] EPA Method 913.0. Determination of radon in drinking water by liquid scintillation counting, Radioanalysis Branch, Nuclear Radiation Assessment Division, Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S., Environmental Protection Agency. 89119.
- [7] Todorović N, Jakonić I, Nikolov J, Hansman J, Vesković M. Establishment of a method for ²²²Rn determination in water by low-level liquid scintillation counter, *Radiat. Prot. Dosim.* 2014;162(1-2):110-114.

RADON IN WATER MEASUREMENT – DIFFERENT LSC METHODS

Jovana Nikolov¹, Ivana Stojković², Nataša Todorović¹ and Srđan Vuković¹

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

Monitoring of ^{222}Rn in drinking water sources is a part of routine measuring analysis carried out by many environmental laboratories. Liquid Scintillation Counting (LSC) method is very often preferred method for measuring of ^{222}Rn in water. The main advantage of this method is that it allows multiple sample automatic analysis and the measurements show very low detection limits.

Both presented LSC ^{222}Rn in water methods involve injection of the water sample into vial containing some type of organic scintillation cocktail, which triggers radon diffusion from the aqueous into organic phase for which it has a much greater affinity, eliminating possibility of radon emanation. Depending of the choice of LSC cocktail, there is a division on two different methods: “one-phase” and “two-phase” method. The main difference between those two methods is the sample composition. The one-phase method assumes direct mixing of 10 ml sample with 10 ml of emulsifying cocktail, for this purpose we used Ultima Gold AB (UGAB) scintillation cocktail. The two-phase method involves usage of water-immiscible cocktails, in this case we used three different LSC cocktails: High Efficiency Mineral Oil Scintillator (MOS), Opti-Fluor O (OFO) and Ultima Gold F (UGF). Calibration samples were prepared with aqueous ^{226}Ra standard in glass 20 ml vials and counted on ultra-low background spectrometer Quantulus 1220 equipped with PSA (Pulse Shape Analysis) circuit which discriminates alpha/beta spectra.

According to the Standard Quench Parameter (SQP) the most stable were samples prepared with UGF cocktail. The change of PSA value had the great effect on the Calibration Factor (CF) for MOS cocktail. For all four LSC cocktails we determined MDA values for measuring time of 300 minutes.

AN OVERVIEW OF THE RADON RESEARCH IN THE INSTITUTE OF PHYSICS BELGRADE

*Vladimir Udovičić, Dimitrije Maletić, Aleksandar Dragić,
Radomir Banjanac, Dejan Joković, Mihailo Savić and Nikola Veselinović*
Institute of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia
udovicic@ipb.ac.rs

INTRODUCTION

Radon studies in the Institute of Physics Belgrade last a few decades. The first project related to radon was searching for connection between radon variability in soil and water and seismic activity in Montenegro [1]. After that, in the Low-Background Laboratory for Nuclear Physics, Institute of Physics Belgrade, the new research topics of rare nuclear processes was in the scientific focus. There was the need to build up the laboratory space to accomplish this type of research. In the 1997, underground low-background laboratory was built in, with the aim of investigating the rare nuclear processes. In the laboratory of this type, the influence of radon on the natural background radioactivity is dominant and there is an imperative that radon levels must be as low as it possible, with minimal time variation. In that sense, continuous radon monitoring became the mandatory activity. This paper presents the results of many years of radon monitoring in the underground low-background laboratory in the Institute of Physics Belgrade.

Besides radon monitoring in the laboratory, we work on several research topics regarding radon: using multivariate classification and regression methods, as developed for data analysis in high-energy physics and implemented in the TMVA software package, to study connection of climate variables and variations of radon concentrations, modelling of the indoor radon behaviour and radon mapping. All these research activities are presented in this work in more details.

RADON MONITORING IN THE UNDERGROUND LOW- BACKGROUND LABORATORY

The Low-Background Laboratory for Nuclear Physics at the Institute of Physics in Belgrade is a shallow underground laboratory (Figure 1). The laboratory was built in the loamy loess cliff on the bank of the river Danube with the overburden of 12 m of soil. It has an active area of about 60 m².

The walls, the floor and the ceiling of the laboratory are built of reinforced concrete of 30 cm thickness. From the measurements of the absolute flux of cosmic-ray muons in the underground as well as in the ground level laboratory [2] it was estimated that the equivalent depth of the laboratory is about 25 m.w.e. (a shielding thickness of the overburden soil expressed as water equivalent thickness). Description of the laboratory is presented in more detail elsewhere [3].

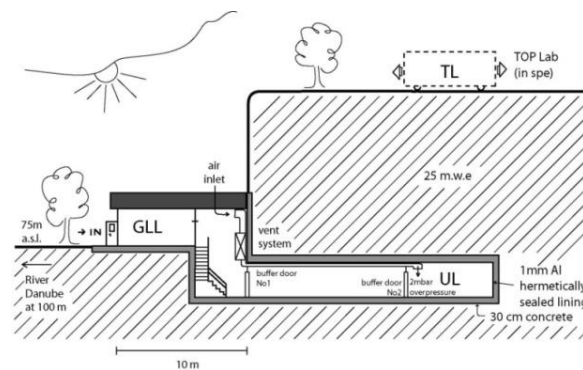


Figure 1. Cross-section of the underground low-background laboratory at the Institute of Physics Belgrade.

The system for the reduction of radon concentration in the laboratory consists of three stages. First, the active area of the laboratory is completely lined up with aluminium foil of 1 mm thickness, which is hermetically sealed with a silicon sealant to minimize the diffusion of radon from surrounding soil and concrete used for construction. The second one is the ventilation system. The laboratory is continuously ventilated with fresh air, filtered through one rough filter for dust elimination followed by the battery of coarse and fine charcoal active filters. The inlet of air is outside of the laboratory, at the height of 2.5 m above the ground. Finally, the parameters of the ventilation system are adjusted so as to result in an overpressure of about 2 mbar over the atmospheric pressure, which further prevents radon diffusion through eventual imperfections in the aluminium layer.

The device for the performed short-term radon measurements is SN1029 radon monitor (manufactured by the Sun Nuclear Corporation, NRSB approval code 31822) with the following characteristics: the measurement range from 1 Bq m^{-3} to 99.99 kBq m^{-3} , accuracy equal to $\pm 25 \%$, sensitivity of 0.16 counts hour per Bq m^{-3} . With these characteristics, SN1029 radon monitor is defined as a high-sensitivity passive instrument

for the short-term radon measurements and it is an optimal solution for radon monitoring in the underground laboratory.

The radon data from radon monitor device SN1029 for the period of 3 years are spectrally analysed. The Lomb-Scargle periodogram analysis method has been used in spectral analysis of radon time series. The obtained periodogram show two periodicity, on the 1 day and 1 year [4]. Mean radon value is 13.8 Bq m^{-3} with standard deviation of 9.9 Bq m^{-3} over the 3 years of continuous measurements with daily and seasonal variability [5]. It has been shown that the radon behaviour in the underground low-level laboratory in Belgrade has the similar characteristics as in the other underground environment (caves, mines, boreholes and so on), because it has the same source and the places are completely surrounded with the soil.

MVA METHODS AND MODELLING OF THE INDOOR RADON BEHAVIOUR

The demand for detailed analyses of large amount of data in high-energy physics resulted in wide and intense development and usage of multivariate methods. Many of multivariate methods and algorithms for classification and regression are already integrated into the analysis framework ROOT, more specifically, into the toolkit for multivariate analysis (TMVA). We use these multivariate methods to create, test and apply all available classifiers and regression methods implemented in the TMVA in order to find the method that would be the most appropriate and yield maximum information on the dependence of indoor radon concentrations on the multitude of climate variables. The first step is to calculate and rank the correlation coefficients between all the variables involved, what will help in setting up and testing the framework for running the various multivariate methods contained in the TMVA. Although these correlation rankings will later be superseded by method specific variable rankings, they are useful at the beginning of the analysis. The next step is to use and compare the multivariate methods in order to find out which one is best suited for classification (division) of radon concentrations into what would be considered acceptable and what would be considered increased concentration in indoor spaces. Main aim is to find out which method can, if any, on the basis of input climate variables only, give an output that would satisfactorily close match the observed variations of radon concentrations. Towards this aim, this work were tested in a many specific cases (underground low-background laboratory and other indoor environment) to

comprise the multitude of possible representative situations that occur in real life.

The test of multivariate methods, implemented in the TMVA software package, applied to the analysis of the radon concentration variations connection with climate variables in different indoor spaces demonstrated the potential usefulness of these methods. It appears that the method can be used with sufficient accuracy (around 15 %) for prediction of the radon concentrations. All the obtained results were published in several research articles [6-8].

RADON MAPPING IN SERBIA

In the last three years, we were involved in the establishing national radon action plan (RAP) and performed first national indoor radon survey as a leading institution in the technical support of the project. The responsibility for the establishment and implementation of RAP is on national regulatory body: Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (SRPNA). As a first step in RAP, it was the national indoor radon survey in Serbia performed during 2015-2016. The project was supported by IAEA through the national project: SRB9003 - Enhancing the Regulatory Infrastructure and Legislative System, with two components:

- Expert mission on „National Radon Trial Survey and Raising Awareness of Key Stakeholders,, held in SRPNA, Belgrade, 2 - 4 February 2015.
- Equipment: Leasing of 6000 track-etched indoor radon detectors; the distribution of detectors across the Serbian territory was the responsibility of SRPNA.

Also, during the realization of the national programme for indoor radon measurements, Institute of Physics Belgrade and other research institutions involved in the project together with the SRPNA, performed good communication strategy (first basic information leaflet on radon to accompany the measurement explaining the purpose of the measurement, internet site, public relation, public education...) which led to high survey efficiency (about 90 %), together with very hard field work. In total 6000 detectors have been distributed during October 2015 and exposed in houses and apartments for six months (till April 2016). Afterwards, the detectors were collected and sent to an authorized laboratory (Landauer Nordic AB) to be processed and consequently, we got data for the first national indoor radon survey. The preliminary results and radon map was presented at the 8th Conference of Protection against Radon at Home and at Work, 12 - 14 September 2016, Prague, Czech Republic [9].

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education, Science and Technology Development of Serbia within the projects: 171002 - Nuclear Methods Investigations of Rare Processes and Cosmic Rays and 43002 - Biosensing Technologies and Global System for Continuous Research and Integrated Management.

REFERENCES

- [1] Antanasijević R, Milošević I. Correlation between the concentration of ²²²Rn at the Earth's surface and in waters with seismic activities. Nucl. Tracks Radiat. Meas. 1990;17:79.
- [2] Dragić A, Joković D, Banjanac R, Udovičić V, Panić B, Puzović J, Aničin I. Measurement of cosmic ray muon flux in the Belgrade ground level and underground laboratories. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 2008;A591:470–475.
- [3] Dragić A, Udovičić V, Banjanac R, Joković D, Maletić D, Veselinović N, Savić M, Puzović J, Aničin I. The new set-up in the Belgrade low-level and cosmic-ray laboratory. Nucl. Technol. Radiat. Protect. 2011; 26(3):181–192.
- [4] Udovičić V, Aničin I, Joković D, Dragić A, Banjanac R, Grabež B, Veselinović N. Radon time-series analysis in the underground low-level laboratory in Belgrade, Serbia. Radiat. Prot. Dosim. 2011;145:155–158.
- [5] Udovičić V, Filipović J, Dragić A, Banjanac R, Joković D, Maletić D, Grabež B, Veselinović N. Daily and seasonal radon variability in the underground low-background laboratory in Belgrade, Serbia. Radiat. Prot. Dosim. 2014;160(1-3):62-64.
- [6] Maletić D, Udovičić V, Banjanac R, Joković D, Dragić A, Veselinović N, Filipović J. Comparison of multivariate classification and regression methods for the indoor radon measurements. Nucl. Technol. Radiat. Prot. 2014; 29(1): 17–23.
- [7] Maletić D, Udovičić V, Banjanac R, Joković D, Dragić A, Veselinović N, Filipović J. Correlative and multivariate analysis of increased radon concentration in underground laboratory. Radiat. Prot. Dosim. 2014;162:148-151.
- [8] Filipović J, Maletić D, Udovičić V, Banjanac R, Joković D, Savić M, Veselinović N. The use of multivariate analysis of the radon variability in the underground laboratory and indoor environment. Nukleonika 2016; 61(3):357-360.
- [9] Udovičić V, Maletić D, Eremić Savković M, Pantelić G, Ujić P, Čeliković I, Forkapić S, Nikezić D, Marković V, Arsić V, Ilić J, Nilsson P. Preliminary results of the first national indoor radon survey in Serbia. In: Book of Abstracts of 8th Conference of Protection against Radon at Home and at Work, September 12-14, 2016; Prague, Czech Republic.

AN OVERVIEW OF THE RADON RESEARCH IN THE INSTITUTE OF PHYSICS BELGRADE

*Vladimir Udovičić, Dimitrije Maletić, Aleksandar Dragić,
Radomir Banjanac, Dejan Joković, Mihailo Savić and Nikola Veselinović*
Institute of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia
udovicic@ipb.ac.rs

Institute of Physics Belgrade has a long tradition in the radon research. In the 1997, underground low-background laboratory was built in, with the aim of investigating the rare nuclear processes. The experiments and routine measurements in the underground low-background laboratory require low levels of radon concentration with minimum temporal variations. From the beginning, continuous monitoring of radon concentration is being carried out. Radon monitoring in the underground laboratory is done with the passive and active devices. Besides radon monitoring in the laboratory, we work on several research topics regarding radon: using multivariate classification and regression methods, as developed for data analysis in high-energy physics and implemented in the TMVA software package, to study connection of climate variables and variations of radon concentrations, modelling of the indoor radon behaviour and radon mapping. In the last three years, we were involved in the establishing national radon action plan and performed first national indoor radon survey as a leading institution in the technical support of the project. In this work, all these radon activities are described in details.

MEASUREMENTS OF UNATTACHED FRACTION OF RADON PROGENY IN WORKING AREA

Peter Jovanovič

Zavod za varstvo pri delu d. o. o., Ljubljana-Polje, Slovenia

peter.jovanovic@zvd.si

INTRODUCTION

Lung cancers are caused by the inhaled short lived radon progeny, produced by the radon gas. Radon gas measurements are easier to carry out than radon progeny measurements. Using a typical value of the equilibrium factor F appropriate to specific exposure conditions, measured radon activity concentrations can be used to estimate the contribution of radon progeny to lung dose [1].

In some specific working places as underground caves and mines aerosol characteristics in the air differs from other working places. In such cases the fraction of radon progeny attached to aerosols may have a three-modal activity size distribution, which can be approximated by a combination of three lognormal distributions. These consist of the nucleation mode with AMD values between 10 and 100 nm, the accumulation mode with AMD values of 100 – 450 nm and a coarse mode with an AMD higher than 1 μm [2].

A fraction of radon progeny not attached to airborne particles is often referred to as unattached fraction. The particle size concerned is of the order of magnitude of nanometer. The upper limit for unattached fraction is 5 nm, i.e. clusters carrying progeny [1].

Regarding radiation protection regulations in Slovenia [3] measurements of natural radiation in public buildings have to be done by accredited laboratory [4] to determine those with elevated radon concentrations. Ministry of Health started measurements of radon concentrations in schools and kindergartens twenty years ago. Almost all kindergartens and schools were included in monitoring [5,6]. In kindergartens and schools with very high radon concentration measurements were repeated and objects remediated if needed. For determinations of radon and radon progeny concentrations measurements by electronic devices in the period of one week have been performed.

Because of high radon and radon progeny concentrations in tourist caves regular monitoring for dose assessment for workers was required by the government.

In this article measurements of unattached fractions of radon progeny in working places like schools, kindergartens and caves are presented.

METHODS

In case of increased radon concentrations measured in schools and kindergartens by track each detector and in case of regular monitoring in caves measurements of radon and radon daughter concentrations on working places were required.

Continuous measurements of radon concentrations were performed by AlphaGUARD (Saphymo, Germany) and RAD7 (Durridge, USA). Continuous measurements of radon daughter concentrations were performed by BWLM 2S (Tracerlab, Germany) and by Doseman Pro (SARAD, Germany). Measurements of unattached fraction of radon daughters were made by BWLM 2S. Device has two alpha detectors, one connected to filter and another to screen of mesh number 200. The measured 50 % cut-off for unattached fraction measurement by BWLM 2S is 5 nm. Equilibrium factor F is defined as a quotient between equilibrium equivalent activity radon progeny concentration, C_{eq} , and actual radon concentration, C_{Rn} ,

$$F = C_{eq} / C_{Rn}. \quad (1)$$

Unattached fraction f_p is defined as a quotient between equilibrium equivalent concentration of unattached radon progeny c_{eq}^f and equilibrium equivalent concentration of attached radon progeny c_{eq}^a [7],

$$f_p = c_{eq}^f / c_{eq}^a. \quad (2)$$

Measuring interval was one hour for radon concentration and 30 minutes or one hour for attached and unattached radon progeny concentrations in a period of at least one week.

RESULTS

In a period from 2014 to 2016 measurements of radon concentrations, attached and unattached radon progeny concentrations on 11 different working places as schools and kindergartens and in two underground working places (caves) were done.

Figure 1 shows results of unattached fraction measurements on 11 working places. Average value was 0.12 (0.06 – 0.26). In some cases, as in

primary school in Lokev average value of unattached fraction f_p between working hours was 0.16 and 0.28 in weekend time. The reason for lower values in working time was higher aerosol and dust concentration between working hours.

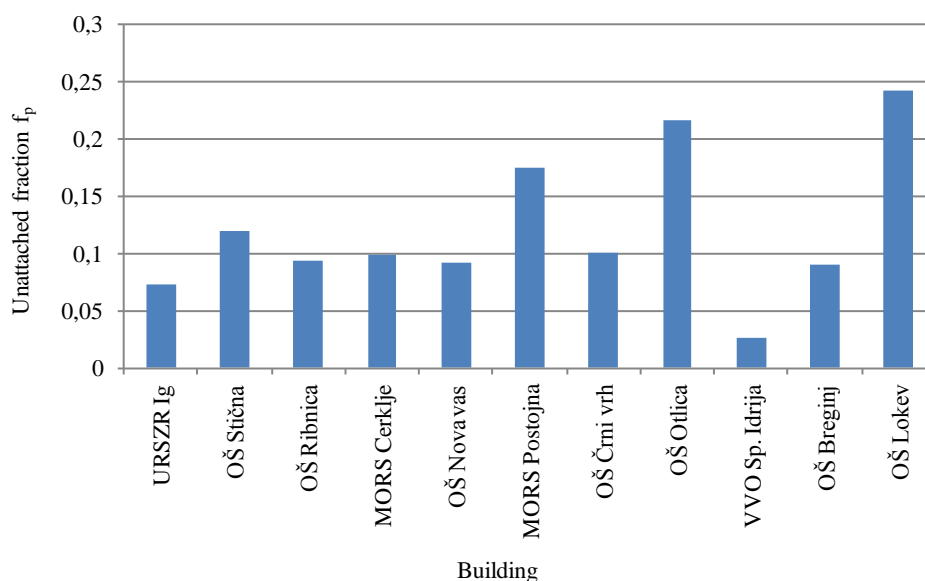


Figure 1. Measurements of unattached fraction f_p on working places.

Figure 2 shows unattached fractions f_p in two caves in Slovenia, Postojna cave and Škocjan caves. Average value was 0.26 (0.14 – 0.66). In Postojna cave unattached fraction f_p is much higher than in Škocjan caves (Figure 2). Unattached fraction f_p was also higher in summer period than in winter period (green field on Figure 2). Difference between summer and winter period in Postojna cave is more evident than in Škocjan caves. The reason for such difference is in climatic parameters and number of aerosols and ventilation.

In caves, we can see big influence of visitors to the microclimatic parameters. Figure 3 shows particle concentration $PM_{2.5}$ (in $\mu g/cm^3$), unattached fraction f_p and wind speed on Thursday, 26.7.2014. When visitors enter the cave, entrance opens, what caused higher wind speed into the cave and fresh air with more aerosols was entering the cave. Particle concentration $PM_{2.5}$ increased and unattached fraction f_p decreased.

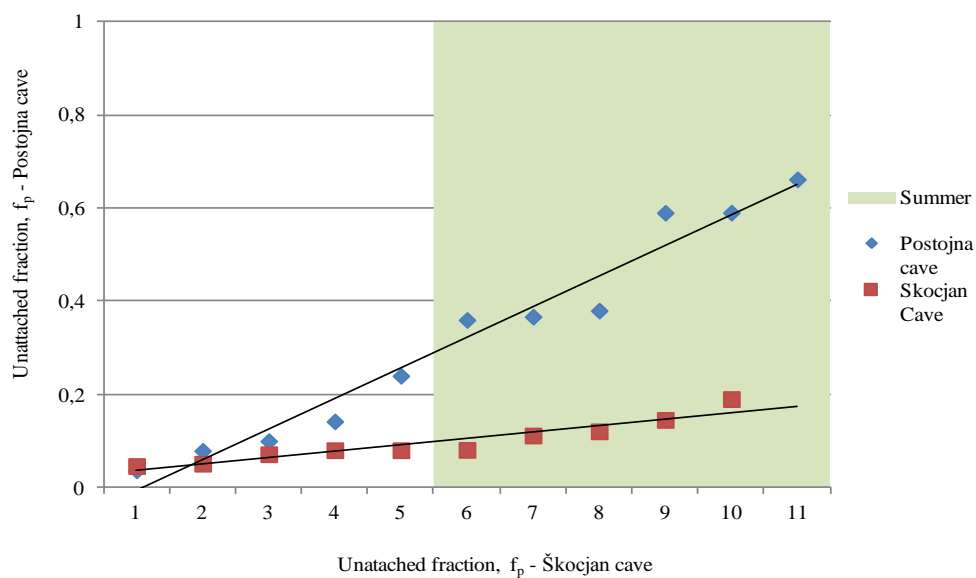


Figure 2. Measurements of unattached fraction f_p in caves.

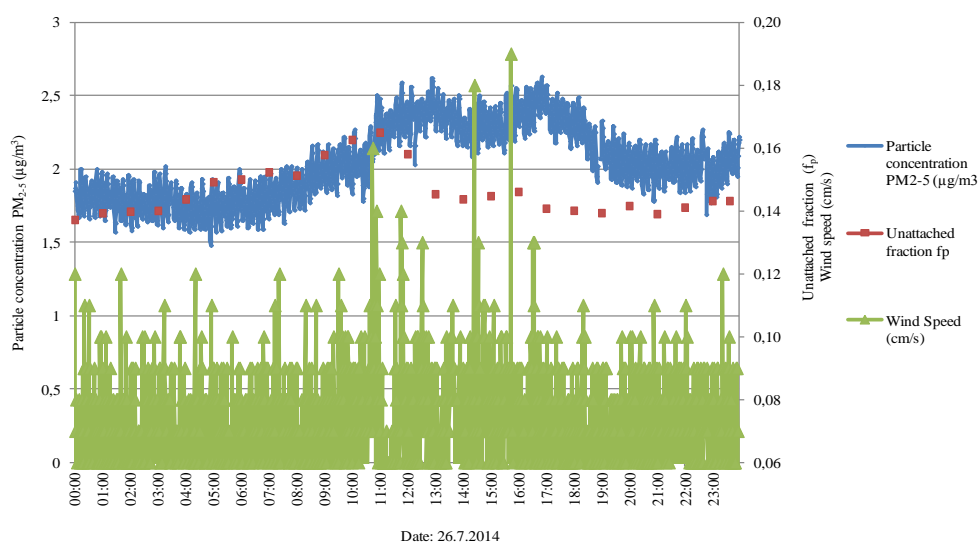


Figure 3. Particle concentration $PM_{2.5}$, unattached fraction and wind speed in Škocjan caves, 27.6.2014.

CONCLUSIONS

Measurements of unattached fraction show high values on working places, especially on karst area and in caves. We will continue with measurements of unattached fraction and for workers in caves we will propose higher dose conversion factors.

REFERENCES

- [1] Journal of ICRU, ICRU Report 88, Measurement and Reporting of Radon Exposures. Oxford University Press, Vol. 12, No. 2, 2012.
- [2] Porstendörfer J. Physical parameters and dose factors of the radon and thoron decay products. Radiat. Prot. Dosimetry 2001;94:365-373.
- [3] Ionizing Radiation Protection and Nuclear Safety Act. Off. Gaz. of the RS, 102, 2004.
- [4] Rules on the monitoring of radioactivity, Off. Gaz. of the RS, 20, 2007.
- [5] Vaupotič J, Sikovec M, Kobal I. Systematic indoor radon and gamma-ray measurements in Slovenian schools. Health Physics 2000;78:559-562.
- [6] Jovanovič P. Systematic survey of working and living environment, ZVD, 2006 - 2016 (in Slovenian).
- [7] Porstendörfer J. Behaviour of radon daughter products in indoor air. Radiat. Prot. Dosimetry 1984;7:107-113.

MEASUREMENTS OF UNATTACHED FRACTION OF RADON PROGENY IN WORKING AREA

Peter Jovanovič

Zavod za varstvo pri delu d. o. o., Ljubljana-Polje, Slovenia

peter.jovanovic@zvd.si

Measurements of radon concentration and radon progeny concentration (attached and unattached) have been performed in several workplaces in Slovenia. In this article, I put attention on unattached fraction, f_p , of radon progeny. In workplaces like schools and kindergartens f_p ranged between 0.03 and 0.24 (mean value 0.12). In workplaces on karst area, the higher values of unattached fraction have been measured than in other parts of Slovenia. In underground workplaces like caves unattached fraction ranged between 0.04 and 0.66 (mean value 0.25).

INDOOR RADON ACTIVITY CONCENTRATION IN THERMAL SPAS IN SLOVAKIA

Monika Müllerová¹, Karol Holý¹, Pavol Blahušíak¹ and Martin Bulko¹

¹Department of Nuclear Physics and Biophysics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovakia
mullerova@fmph.uniba.sk

In Slovakia, there is a long tradition of using thermal waters in spas care. The use of water in the balneotherapy process contributes to radon release from water into indoor air of the workplace. Radon activity concentration can reach high values for large volumes of water used.

Radon concentration was measured in 4 thermal spas in Slovakia. RAMARN detectors were used in this survey. The survey was performed from March 2014 to February 2015. Radon concentration above 1000 Bq m⁻³ was found. The analyses indicated that the highest radon activities in spas were found in rooms with thermal pools.

PROCJENA PROCENTA STANOVA U CRNOJ GORI SA KONCENTRACIJAMA RADONA IZNAD DATOG NIVOVA

Perko Vukotić¹, Nevenka Antović², Andrija Đurović³, Ranko Zekić⁴, Nikola Svrkota⁴, Tomislav Anđelić⁴, Ranko Svrkota⁵, Radivoje Mrdak⁶, Nataša Bjelica⁷, Tamara Đurović⁷, Aleksandar Dlabac⁸ i Marija Bogićević⁹

¹Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica

²Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

³Societe Generale Montenegro, Podgorica

⁴Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica

⁵Republički zavod za geološka istraživanja, Podgorica

⁶Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

⁷Ministarstvo održivog razvoja i turizma, Podgorica

⁸Centar za nuklearnu kompetenciju, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

⁹Osnovna škola „Dr Dragiša Ivanović“, Podgorica

pvukotic@canu.ac.me

UVOD

Vlada Crne Gore je 1998. godine, bez prethodnog poznavanja stvarnog stanja radona u državi, usvojila kao nacionalni referentni nivo za postojeće zgrade srednju godišnju koncentraciju aktivnosti radona 400 Bq/m³, za buduće zgrade 200 Bq/m³, a za radne prostore 1000 Bq/m³.

Priprema prvog sistematskog nacionalnog istraživanja radona u stanovima započeta je 2000. godine i mjerenja radona su sprovedena 2002/2003. godine u stanovima na polovini teritorije Crne Gore [1,2]. Istraživanje, koje je tada moralo biti prekinuto zbog nedostatka finansijskih sredstava, nastavljeno je 2014. godine, sa početkom realizacije nacionalnog projekta "Mapiranje radona u Crnoj Gori i unapređenje nacionalnog sistema zaštite od radona", a završeno je krajem 2016. godine.

Prema popisu iz 2011. godine, Crna Gora ima 620 029 stanovnika, a broj stalno nastanjenih stanova je 188 376, od kojih je oko 50 % u prizemlju. Preovlađuju zgrade i porodične kuće od betona i opeke, bez centralnog sistema za grijanje i ventilaciju.

MATERIJAL I METODE

Za izbor lokacija u sistematskom istraživanju radona u Crnoj Gori korišćena su dva tipa mreža: mreža kvadrata 5 km × 5 km, koja prekriva

cjelokupnu teritoriju države (552 kvadrata od kojih je 64 bez stalnih naselja), i lokalne mreže kvadrata $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$, koje prekrivaju teritorije glavnih gradova opština u Crnoj Gori. U svakom kvadratu ovih mreža biran je za mjerenje radona jedan stan u prizemlju ili na prvom spratu, u zgradi koja je po konstruktivnim karakteristikama i po njenoj geološkoj podlozi reprezentativna za područje datog kvadrata mreže.

Detektori CR-39 korišćeni su u obje faze mjerenja radona: 2002/2003. u primorskom i centralnom regionu i 2014/2015. u sjevernom regionu i na lokacijama gdje su detektori bili izgubljeni 2002/2003. U obje faze korišćeni su 'osnovni' i 'kontrolni' dozimetri, naručeni iz inostranstva od dvije međusobno nezavisne akreditovane laboratorije.

Radon je mjereno u dnevnoj ili spavaćoj sobi tokom dva šestomjesečna perioda: 'ljetnjem' (april – septembar) i 'zimskom' (oktobar – mart). U cilju kontrole kvaliteta mjerenja, približno na svakoj desetoj lokaciji uparena su dva osnovna detektora, a na drugoj svakoj desetoj lokaciji upareni su osnovni i kontrolni detektor. Rezultati uparenih detektora su pokazali dobru saglasnost – tipično unutar 10 %.

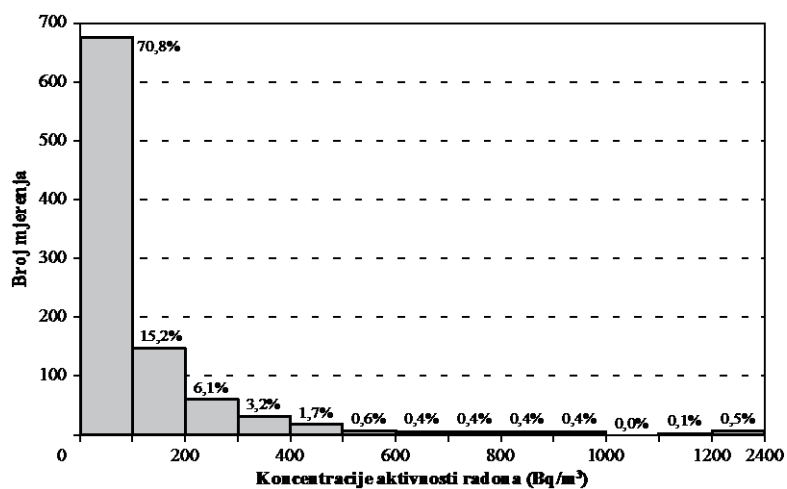
Za statističku obradu rezultata mjerenja korišćen je softverski paket R.

REZULTATI

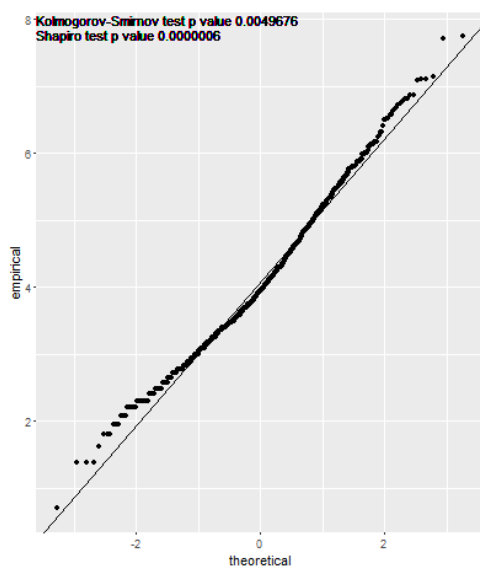
Nedostajuće sezonske koncentracije radona izračunate su primjenom korelacionih koeficijenata između ljetnjih i zimskih koncentracija aktivnosti radona, određenih za svaku od tri klimatske zone u Crnoj Gori. Tako je dobijeno da je ukupan broj stanova u Crnoj Gori sa validnim rezultatima za srednje godišnje koncentracije radona 953. Samo 6 od 488 stalno naseljenih kvadrata mreže $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ ostalo je bez rezultata za koncentracije radona.

Iz ovih 953 rezultata dobija se da je srednja godišnja koncentracija aktivnosti radona u stanovima u Crnoj Gori 110 Bq/m^3 , a medijana 52 Bq/m^3 . Maksimalna izmjerena koncentracija aktivnosti radona je 2321 Bq/m^3 . Histogram rezultata mjerenja radona dat je na Slici 1.

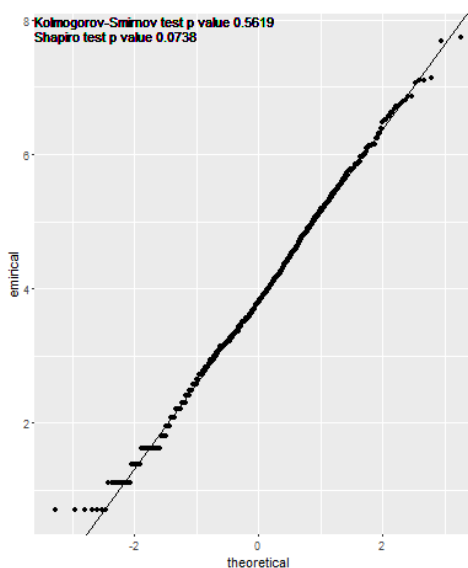
Ako se, kao što je uobičajeno, pretpostavi da ovaj set rezultata za koncentracije radona približno slijedi lognormalnu raspodjelu, dobija se da je njena geometrijska sredina $\text{GSD} = 58.3 \text{ Bq/m}^3$ a geometrijska standardna devijacija $\text{GSD} = 2.91$. Međutim, QQ-plot i još očiglednije Kolmogorov-Smirnov (K-S) ($p = 0.0050$) i Shapiro-Wilk (S-W) ($p = 0.0000$) testovi, pokazuju da tu pretpostavku treba odbaciti kao netačnu sa vjerovatnoćom 95 % (Slika 2). Najveća odstupanja od idealne lognormalne raspodjele su u oblastima najmanjih i najvećih vrijednosti koncentracija radona.



Slika 1. Histogram koncentracija aktivnosti radona u stanovima Crne Gore.



Slika 2. Q-Q plot originalnih podataka.



Slika 3. Q-Q plot transformisanih podataka.

Više autora [3-6] opisuje rezultate mjerenja koncentracija aktivnosti radona u stanovima kao superpoziciju osnovnog nivoa, koji potiče od radona u spoljašnjem vazduhu, i koncentracija radona unutar stanova iz drugih izvora, koje slijede lognormalnu raspodjelu. Kako u Crnoj Gori

nijesu rađena sistematska mjerenja koncentracija aktivnosti radona u atmosferskom vazduhu, statistički je razmatrano koja to pretpostavljena vrijednost te koncentracije, iz nekog razumnog opsega recimo od 5 Bq/m³ do 11 Bq/m³, koja bi bila oduzeta od eksperimentalnih rezultata, najviše približava tako transformisani set podataka lognormalnoj raspodjeli. U našem slučaju pokazuje se da je to vrijednost 7 Bq/m³, za koju K-S test i S-W test kombinovano daju najbolje približavanje transformisane raspodjele idealnoj lognormalnoj raspodjeli (Tabela 1 i Slika 3).

Tabela 1. Korekcije na pretpostavljeni nivo radona u spoljašnjem vazduhu.

Korekcija (Bq/m ³)	K-S test <i>p</i>	S-W test <i>p</i>
5	0.1903	0.0280
6	0.3422	0.0656
7	0.5619	0.0738
8	0.7080	0.0389
9	0.3988	0.0044
10	0.1845	0.0008
11	0.0275	0.0000

Od svih eksperimentalnih rezultata oduzeto je zatim 7 Bq/m³. Da se ne bi gubili najniži rezultati mjerenja, svim negativnim vrijednostima i onim jednakim nuli dodato je 5 Bq/m³. Karakteristične vrijednosti tako dobijene transformisane raspodjele su GM_{tr} = 46.7 Bq/m³ i GSD_{tr} = 3.54.

Procjena procenta stanova u Crnoj Gori sa koncentracijama radona iznad nekoliko karakterističnih nivoa na osnovu transformisane raspodjele data je u Tabeli 2, zajedno sa procjenom na osnovu ‘originalne’ raspodjele i iz rezultata mjerenja radona. Vidi se da transformisana raspodjela reprodukuje rezultate mjerenja bolje nego ‘originalna’ raspodjela. Takođe, može se zaključiti da rezultati mjerenja, a posebno ‘originalna’ raspodjela, podcjenjuju procenat stanova sa koncentracijama radona iznad 1000 Bq/m³, koji je važan sa aspekta planiranja troškova finansijske podrške države njihovoj remedijaciji. Stoga, u predlogu Nacionalnog akcionog plana za zaštitu od radona, koristimo procjene izvedene iz transformisane raspodjele, tj. da se srednje godišnje koncentracije aktivnosti radona iznad 300 Bq/m³ mogu očekivati u 7.4 % stanova, a iznad akcionog nivoa od 1000 Bq/m³ u 0.8 % stanova u Crnoj Gori.

Tabela 2. Procenti stanova iznad datog nivoa koncentracije radona C.

Set podataka	C > 100 Bq/m³	C > 300 Bq/m³	C > 400 Bq/m³	C > 800 Bq/m³	C > 1000 Bq/m³
Rezultati mjerenja	29.2 %	7.9 %	4.6 %	1.5 %	0.6 %
GM, GSD	30.7 %	6.3 %	3.6 %	0.7 %	0.4 %
GM _{tr} , GSD _{tr}	30.2 %	7.4 %	4.6 %	1.3 %	0.8 %

ZAKLJUČAK

Rezultati mjerenja radona u 953 stana u Crnoj Gori ne mogu se dovoljno dobro aproksimirati lognormalnom raspodjelom. Međutim, ako se od svakog od tih rezultata oduzme pretpostavljena koncentracija radona u spoljašnjem vazduhu od 7 Bq/m³, pokazuje se da tako transformisani set podataka dobro prati lognormalnu raspodjelu, na osnovu koje se zatim može uraditi dobra procjena procenta stanova u državi koji imaju koncentracije aktivnosti radona iznad nekog datog nivoa.

Zahvalnost

Rad je urađen na osnovu rezultata istraživanja radona koja su finansirali Vlada Crne Gore i Međunarodna agencija za atomsku energiju. Autori su im zahvalni što su omogućili realizaciju ovih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Antovic N, Vukotic P, Zekic R, Svrkota R, Ilic R. Indoor radon concentrations in urban settlements on the Montenegrin Coast. *Rad Meas* 2007; 42/9: 1573-1579.
- [2] Vukotic P, Antovic N, Zekic R, Svrkota R, Ilic R. Indoor Radon Concentrations in Four Municipalities of the Central Part of Montenegro. *J Res Phys* 2007; 32/1: 1-15.
- [3] Gunby JA, Darby SC, Miles JCH, Green BMR, Cox DR. Factors Affecting Indoor Radon Concentrations in the UK. *Health Phys* 1993; 64: 2-12.
- [4] Miles J. Mapping radon-prone areas by lognormal modeling of house radon data. *Health Phys* 1998; 74/3: 370-378.
- [5] Fennell SG, Mackin GM, Madden JS, McGarry AT, Duffy JT, O'Colmain M, Colgan PA, Pollard D. 2002. Radon in Dwellings, the Irish National Radon Survey. RPII-02/1. Radiological Protection Institute of Ireland, Dublin 2002.
- [6] Dowdall A, Murphy P, Pollard D, Fenton D. Update of Ireland's national average indoor radon concentration – Application of a new survey protocol. *Journal of Environmental Radioactivity* 2017; 169-170, 1-8.

ESTIMATION OF A PERCENTAGE OF DWELLINGS IN MONTENEGRO WITH RADON CONCENTRATIONS ABOVE A GIVEN LEVEL

Perko Vukotic¹, Nevenka Antovic², Andrija Djurovic³, Ranko Zekic⁴, Nikola Svrkota⁴, Tomislav Andjelic⁴, Ranko Svrkota⁵, Radivoje Mrdak⁶, Natasa Bjelica⁷, Tamara Djurovic⁷, Aleksandar Dlabac⁸ and Marija Bogicevic⁹

¹Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Podgorica

²Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro

³Societe Generale Montenegro, Podgorica

⁴Centre for Ecotoxicological Research, Podgorica

⁵Geological Survey of Montenegro, Podgorica

⁶Faculty of Civil Engineering, University of Montenegro, Podgorica

⁷Ministry of Sustainable Development and Tourism, Podgorica

⁸Centre for Nuclear Competence, University of Montenegro, Podgorica

⁹Primary School „Dr Dragisa Ivanovic“, Podgorica

pvukotic@canu.ac.me

Measurements for systematic indoor radon survey in Montenegro, within the national grid of 5 km × 5 km and local grids in urban areas of 0.5 km × 0.5 km, are completed in 2015. The 953 valid results for annual radon activity concentrations in sampled dwellings give an average annual radon concentration in Montenegro of 110 Bq/m³. Assuming a lognormal distribution of the experimental results, geometric mean GM = 58.3 Bq/m³ and geometric standard deviation GSD = 2.91 are calculated.

However, the Kolmogorov-Smirnov test and Shapiro-Wilk test show that the distribution of experimental results is not a lognormal, and that it becomes closest to lognormal distribution after subtracting 7 Bq/m³, as an assumed radon activity concentration in the outdoor air, from all experimental results. Characteristics of such a transformed distribution are GM_{tr} = 46.7 Bq/m³ and GSD_{tr} = 3.54.

Percentage of sampled dwellings with radon activity concentrations above a given level, which follows from the measurements, is better reproduced by GM_{tr} and GSD_{tr} than by GM and GSD. This conclusion is very important in order to make good estimation of the percentage of homes in the country which have radon concentrations above a given reference or action level.

RADON IN DWELLINGS IN BELGRADE

*Gordana Pantelić, Jelena Krneta Nikolić, Milica Rajačić, Miloš Živanović
and Dragana Todorović*

University of Belgrade, Institute for Nuclear Sciences Vinča, Belgrade,
Serbia

pantelic@vinca.rs

INTRODUCTION

Radon concentration measurement is a problem that can be approached in many different ways. Measurements can be performed by active or passive methods, by measuring radon directly or via its progeny, by alpha or gamma spectrometry. In each case the method is designed for specific application and depends on required accuracy, sampling environment and on concentration level.

The EPA recommends that the first step in radon measurements is an inexpensive screening measurement [1] to determine whether a house has a potential for causing high exposures to its occupants. If the obtained result is below the screening level, follow-up measurements are probably not needed. If the results of screening measurements are higher than the screening level EPA recommends the follow-up integrated measurements in several areas of the house.

The Republic of Serbia started with the national program for radon with the aim to determine the radiological exposure risk to radon in residential areas [2]. Intervention levels for chronic exposure to ^{222}Rn in homes are already defined in our legislation [3] and are equal to the annual average concentration of 200 Bq/m^3 in the air in newly built housing objects, and 400 Bq/m^3 in the air for existing housing objects.

MATERIAL AND METHODS

Short-term measurements of radon in homes and schools with charcoal canisters are easy to perform and have to be based on standardized protocols to ensure accurate and consistent measurements. Test should be made under closed conditions in order to obtain more representative and reproducible results. The best way is to perform test during the winter, because windows and exterior doors are more likely to be closed [4].

The method of measurement is based on radon adsorption on charcoal and measurement of gamma radiation of radon daughters. The canisters were placed at distance of 1 m from the floor and the walls. Upon closing the canisters, the measurement was carried out after achieving the equilibrium between radon and its daughters (at least 3 hours) using NaI or HPGe detector. Detectors used for the measurement were calibrated by ^{226}Ra standard in the same geometry [5, 6].

Short term charcoal canister exposures were carried out during the winter under closed conditions. The exposures were made in the basement and first floor in a living room or bedroom in the homes, in children's room in the kindergartens and in the classroom in the schools. 2-3 charcoal canisters are placed at each level. In some schools with more than one floor canisters were placed on the second floor also. The measurements were not performed in the kitchens because there could be a ventilation system and not in the bathrooms because relatively little time is spent in bathrooms and high humidity affects the measurement results.

RESULTS

The results from measurement of 142 charcoal canisters, installed in 21 homes, 20 schools (96 classrooms) and 9 kindergartens (23 rooms) are presented. Majority of homes, schools and kindergartens are made of bricks and have central heating. The walls and ceiling are whitewashed. All rooms have natural ventilation. All the measurements were carried out in November and December 2016.

Average radon concentration in homes was 90 Bq/m^3 , minimum $< 19 \text{ Bq/m}^3$ and maximum 313 Bq/m^3 . In 90.5 % examined homes radon concentration was lower than 200 Bq/m^3 and in 9.5 % dwellings radon concentration was between 200 Bq/m^3 and 400 Bq/m^3 .

The data resulting from the radon survey in kindergartens and schools and a summary of the results are given in Table 1 and Table 2. We placed 2-3 charcoal canisters in every kindergarten and 4-5 charcoal canisters in every school, on the basement and ground floor, and some times on higher floors. The average value with standard deviation per level is shown in the tables. It can be seen that the radon concentration above recommended level of 200 Bq/m^3 was obtained only in one kindergarten and 3 schools, but the values were lower than 400 Bq/m^3 . We recommended intensive airing in these objects, but nothing more since these were old buildings and they met the criteria that the intervention levels for chronic exposure to ^{222}Rn are equal to the annual average concentration of 400 Bq/m^3 .

Table 1. Radon concentration in kindergartens (average value \pm st. deviation).

Location	^{222}Rn concentration (Bq/m^3)		
	Basement	Ground floor	1 st floor
Kindergarten 1	114 \pm 15	45 \pm 20	
Kindergarten 2		96 \pm 16	111 \pm 14
Kindergarten 3		64 \pm 9	122 \pm 15
Kindergarten 4		94 \pm 12	98 \pm 11
Kindergarten 5		21 \pm 4	< 19
Kindergarten 6		148 \pm 11	
Kindergarten 7		287 \pm 33	172 \pm 20
Kindergarten 8	57 \pm 8		64 \pm 9
Kindergarten 9		32 \pm 6	

Table 2. Radon concentration in schools (average value \pm st. deviation).

Location	^{222}Rn concentration (Bq/m^3)		
	Basement	Ground floor	1 st and 2 nd floor
School 1	24 \pm 1	< 24	48 \pm 10
School 2	21 \pm 6	40 \pm 30	
School 3	361 \pm 40		298 \pm 34
School 4		35 \pm 6	22 \pm 10
School 5	14 \pm 7		41 \pm 4
School 6		65 \pm 43	172 \pm 20
School 7	283 \pm 33		65 \pm 38
School 8		96 \pm 126	20 \pm 5
School 9	17 \pm 6	38 \pm 35	41 \pm 7
School 10		39 \pm 16	70 \pm 14
School 11	133 \pm 16	166 \pm 155	19 \pm 9
School 12		32 \pm 10	28 \pm 6
School 13	189 \pm 2	64 \pm 39	39 \pm 7
School 14		44 \pm 25	33 \pm 6
School 15	80 \pm 1	20 \pm 6	65 \pm 8
School 16	68 \pm 35	33 \pm 9	27 \pm 11
School 17		146 \pm 17	75 \pm 22
School 18	19 \pm 5	77 \pm 3	
School 19		38 \pm 17	30 \pm 18
School 20		246 \pm 39	13 \pm 4

CONCLUSION

The obtained results show a preliminary status (condition) of indoor radon in dwellings, schools and kindergartens in Belgrade and the results are in agreement with the previous work [6]. We can conclude that situation is satisfactory. The measurement was performed only in the fall/winter when we expected the highest radon concentration. Because of the low cost and simplicity of handling, the canisters can be used several times during the different seasons of the year, providing the data for the estimation of annual mean indoor radon concentration.

Acknowledgment

This study was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under project number III 43009.

REFERENCES

- [1] Ronca-Battista M, Magno P, Nyberg P. Interim Protocol For Screening And Followup Radon and Radon decay Product Measurements. United States Environmental Protection Agency. EPA 520/1-86-014. Washington: EPA; 1987.
- [2] Udovičić V, Maletić D, Eremić Savković M, Pantelić G, Ujčić P, Forkapić S, Stevanović N, Marković V, Arsić V. First steps towards national radon action plan in Serbia. *Nukleonika* 2016;61(3):361-365.
- [3] RS Official Gazette. *Rulebook on limits of exposure to ionizing radiation and measurements for assessment the exposure levels*. Official Gazette of the Republic of Serbia No 86. National Assembly of the Republic of Serbia, Belgrade; 2011.
- [4] Environmental Protection Agency (EPA). Radon Measurement In Schools. United States Environmental Protection Agency. EPA 402-R-92-014. Washington: EPA; 1993.
- [5] Gray DJ, Windham ST. Interim Protocols for Screening and Followup Radon and Radon Decay Product Measurements. United States Environmental Protection Agency. EPA 520/5-87-005. Montgomery: EPA; 1987.
- [6] Pantelić G, Živanović M, Krneta Nikolić J, Eremić Savković M, Rajačić M, Todorović D. Indoor Radon Activity Concentration Measurement Using Charcoal Canister. In: Stacks A.M, ed. *Radon: Geology, Environmental Impact and Toxicity Concerns*. NOVA Science Publisher, New York; 2015; 189-208.

RADON IN DWELLINGS IN BELGRADE

*Gordana Pantelić, Jelena Krneta Nikolić, Milica Rajačić, Miloš Živanović
and Dragana Todorović*

University of Belgrade, Institute for Nuclear Sciences Vinča, Belgrade,
Serbia

pantelic@vinca.rs

The first step in radon concentration measurement is an inexpensive screening measurement to determine whether a house has a potential for causing high exposures to its occupants. If the obtained result is below the screening level (200 Bq/m^3), follow-up measurements are probably not needed.

Short-term measurement of radon in homes and schools with charcoal canister is easy to perform and it has to be based on standardized protocols to ensure accurate and consistent measurements. The method of measurement is based on radon adsorption on coal and measurement of gamma radiation of radon daughters. Charcoal canisters were placed at distance of 1 m from the floor and the walls. Upon closing the canisters, the measurement was carried out after achieving the equilibrium between radon and its daughters (at least 3 hours) using NaI or HPGe detector. Canisters used for the measurement were calibrated by ^{226}Ra standard in the same geometry.

Systematic survey of radon concentration in dwellings was performed in Belgrade in 2016. The charcoal canisters were exposed in the homes, kindergartens and schools. The data resulting from this radon survey merely show a preliminary picture of indoor radon concentration, but the results are in agreement with the previous work and we can conclude that situation is satisfactory.

KONCENTRACIJE RADONA U ŠKOLAMA I VRTIĆIMA U RH – IMPLIKACIJE NA IZRADU I PROVEDBU NACIONALNOG RADONSKOG AKCIJSKOG PLANA

*Vanja Radolić, Marina Poje Sovilj, Denis Stanić, Igor Miklavčić i
Branko Vuković*

Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek
vanja@fizika.unios.hr

UVOD

U prosincu 2013. godine donesena je EU Direktiva (EU BSS) [1] kojom se utvrđuju osnovni sigurnosni standardi zaštite od opasnosti povezane s izloženošću ioniziranom zračenju. Pritom ona obvezuje sve zemlje članice EU na donošenje i/ili prilagodbu postojećeg zakonodavnog okvira do 6. veljače 2018. godine. Ovaj dokument uvažava preporuke ICRP, iz publikacije 103 [2], koje se odnose kako na nove znanstvene činjenice, tako i na nova praktična iskustva u području zaštite od zračenja. Epidemiološkim istraživanjima sumiranim u [3,4] utvrđeno je da rizik od radona postoji i pri vrijednostima za koje se ranije smatralo da je zanemariv. Tako povećanju koncentracije radona za 100 Bq m^{-3} odgovara oko 10 % (1 – 26 %; 95 % CI) povećanja vjerojatnosti incidencije karcinoma pluća [4]. Pritom je rizik od nastanka karcinoma pluća viši za djecu nego za odrasle [3, 5]. Nadalje, u ICRP Publikaciji 103 se razlikuju različiti slučajevi ozračenja: postojeće (engl. *existing*), planirano (engl. *planned*) i izvanredno (engl. *emergency*), pa tako i odgovarajuće kategorije: ozračenje stanovništva (engl. *public exposure*), profesionalno ozračenje (engl. *occupational exposure*) te ozračenje u postupku liječenja (engl. *medical exposure*). Ovakav koncept različitih slučajeva i kategorija ozračenja uveden je i u novi EU BSS, ali je ostavljeno prostora za njihovu fleksibilnu implementaciju.

RADON U EU BSS

Ulazak radona iz tla u unutrašnjost radnih prostora tretira se kao postojeće ozračenje s obzirom na činjenicu da te vrijednosti radona nisu posljedica ljudske aktivnosti u radnim prostorima (odnosno radnim mjestima). Međutim, ta postojeća ozračenja mogu biti značajna u određenim područjima ili u posebnim tipovima radnih prostora (npr. turističke špilje, podzemni radni prostori, ...) te se trebaju poduzeti odgovarajuće popravne

radnje s ciljem smanjenja koncentracije radona i/ili smanjenja ozračenja ako ove vrijednosti premašuju nacionalne referentne vrijednosti. Ove vrijednosti za radon u kućama ([1]: članak 74), odnosno na radnim mjestima ([1]: članak 54), ne bi smjele premašiti vrijednost od 300 Bq m^{-3} . Međutim, ako i nakon provedenih popravnih radnji koncentracije radona budu više od referentne vrijednosti, takvi radni prostori trebaju biti identificirani, te ako radnici u njima primaju godišnju efektivnu dozu višu od 6 mSv , vode se kao planirano ozračenje (sa svim posljedicama zaštite od zračenja koje iz tog proizlaze). Radon se u EU BSS direktno spominje u svega par članaka i aneksa (čl. 54 – opisuje radon u radnim prostorima, čl. 74 – opisuje radon u kućama, čl. 103 – uspostavu radonskog akcijskog plana, Aneks XVIII – navodi niz aktivnosti koje treba uzeti u obzir prilikom izrade akcijskog plana). Međutim, njime se bitno mijenja temeljna paradigma odnosa prema radonu u kućama i na radnim mjestima. Naime, novim se EU BSS-om zemljama članicama EU propisuju maksimalne referentne razine koje svaka zemlja može definirati na svom prostoru, ali što je još važnije (i) svaka zemlja članica **obvezna je donijeti nacionalni akcijski plan za radon** (NRAP), (ii) osigurati odgovarajući pravni okvir (izmjenom zakona o gradnji) u kojem će se značajno otežati ulazak radona iz tla u novosagrađene objekte te (iii) **identificirati područja** u kojima **prosječna godišnja koncentracija radona u značajnom broju objekata** premašuje nacionalnu referentnu vrijednost ([1]; članak 103). Nadalje, u ovim područjima s očekivanom povišenom koncentracijom radona, zemlja članica zahtijeva provođenje mjerenja radona u radnim prostorima u podrumu i prizemlju uzimajući u obzir i mjerenja ostalih parametara propisanih NRAP-om kao i mjerenja u javnim ustanovama (škole, vrtići, bolnice, podzemni radni prostori) u kojima boravi veći broj ljudi tijekom radnog vremena. Zemlje članice su obavezne promicati aktivnosti usmjerene na identifikaciju privatnih kuća u kojima je koncentracija radona viša od referentne vrijednosti te poticati (financijski, tehnički ili nekim drugim sredstvima) provođenje mjera za smanjenje koncentracije radona u tim objektima. Prilikom pripreme i donošenja NRAP-a treba voditi računa o dugotrajnom riziku od ozračenosti radonom i njegovim kratkoživućim potomcima, a u Aneksu XVIII [1] dan je popis elemenata koji trebaju biti uključeni u NRAP:

1. Strategija provođenja mjerenja radona u kućama (odnosno u unutrašnjosti objekata) i u tlu s ciljem procjene raspodjele koncentracije radona, utvrđivanje mehanizma upravljanja podacima, kao i definiranje ostalih relevantnih parametara koji će se prikupljati (vrsta tla i stijena, permeabilnost tla, koncentracija ^{226}Ra u tlu i stijenama, ...).

2. Pristup, podaci i kriteriji koji će se koristiti za prepoznavanje područja potencijalno povišenog ozračenja radonom ili za definiranje parametara koji će se koristiti kao specifični indikatori za identifikaciju takvih područja.
3. Identifikacija tipova radnih prostora i javnih ustanova (škole, vrtići, bolnice, podzemni radni prostori) u kojima je nužno izvršiti mjerenja na temelju procjene rizika.
4. Osnova za uspostavu referentnih vrijednosti za kuće i radne prostore. Ako je primjenjivo, osnova za definiranje različitih referentnih vrijednosti za različite objekte (kuće, javne ustanove, radne prostore) kako novosagrađene tako i postojeće.
5. Podjela odgovornosti između vladinih i nevladinih tijela, mehanizam koordinacije i dostupni izvori za implementaciju NRAP-a.
6. Strategija za smanjenje ozračenosti radonom i njegovim kratkoživućim potomcima u kućama, posebice u područjima definiranim točkom (2).
7. Strategija za omogućavanje popravni radnji nakon gradnje objekta.
8. Strategija, uključujući metode i sredstva, za prevenciju ulaska radona u novosagrađene objekte (preventivne mjere) te identifikacija građevnog materijala sa značajnom ekshalacijom radona.
9. Rokovi za reviziju NRAP-a.
10. Strategija za komunikaciju s javnošću s ciljem podizanja svjesnosti te informiranja javnosti, radnika i poslodavaca kao i relevantnih institucija (lokalnih, regionalnih, nacionalnih) koje donose odluke o rizicima od radona (uključujući korelaciju s pušenjem).
11. Upute za metode i tehnike mjerenja radona kao i popravni radnji; razmotrit će se i kriteriji za akreditaciju pravnih subjekata za obavljanje mjerenja i popravni radnji.
12. Ako je prikladno, pribavljanje financijske pomoći za provođenje mjerenja radona i popravni radnji, posebno za privatne kuće s vrlo visokom koncentracijom radona.
13. Definiranje dugotrajnog cilja smanjenja rizika nastanka karcinoma pluća povezanog s ozračenjem radonom i njegovim kratkoživućim potomcima (za pušače i nepušače).
14. Ako je prikladno, razmatranje i povezivanje drugih relevantnih programa koji utječu na koncentraciju radona u zatvorenom prostoru (program povećanja energetske učinkovitosti objekta, povećanja kvalitete zraka u zatvorenim prostorima, ...).

DOSADAŠNJA ISKUSTVA U RH U IZRADI NRAP-a

Mnoge zemlje članice, ali i zemlje kandidati za članstvo u EU, ozbiljno mijenjaju svoje radonske programe odnosno pripremaju nove i/ili modificiraju postojeće NRAP-ove. To se vidi iz mnoštva radionica i projekata koji su organizirani u zadnjih nekoliko godina. Samo je u sklopu dva IAEA regionalna

projekta (RER/9/127 i RER/9/136) dosad održano šest radionica s ciljem harmonizacije različitih pristupa izradi nacionalnih radonskih programa i akcijskih planova. Na njima su se informirale zemlje sudionice u projektima o svim bitnim elementima EU BSS-a, pravnom okviru u zaštiti od radona, izradi i implementaciji nacionalnih akcijskih planova za radon, dizajnu i provedbi nacionalnih radonskih istraživanja, mjernim tehnikama i protokolima mjerenja, položaju radona u zakonu o gradnji (preventivnim mjerama i popravnim radnjama), riziku od radona i percepciji javnosti, komunikacijskim strategijama, itd. Ono što je za sada ostalo izvan fokusa jedno je od "najproblematičnijih" radonskih dijelova EU BSS-a, a odnosi se na identifikaciju područja u kojima prosječna godišnja koncentracija radona u značajnom broju objekata premašuje nacionalnu referentnu vrijednost. Definicija ovih, radonu pogodnih područja (engl. *radon-prone areas*), nije jednoznačna i mnoge ih države definiraju na svoj način. Ona mogu biti definirana izravno preko mjerenja radona u kućama ili neizravno preko koncentracije radona u tlu uz pretpostavku da je poznata korelacija između koncentracija radona u tlu i radona u unutrašnjosti objekata sagrađenih na tom tlu. Definicija im se može temeljiti na različitim kriterijima: prosječnoj koncentraciji radona (aritmetičkoj ili geometrijskoj sredini, medijanu geometrijske raspodjele, ...), klasifikaciji geogenskog radonskog potencijala, različitom postotku objekata koji premašuju određenu, referentnu vrijednost, vjerojatnosti da koncentracija u pojedinom objektu bude viša od referentne vrijednosti i dr. Nadalje, ovako definirana područja mogu pratiti administrativne granice ili granice ranije definiranih geografskih (mrežasta kvadratična) ili geoloških (poligonalna) struktura.

Koncentracije radona u školama i vrtićima u Republici Hrvatskoj sustavno se mjere detektorima nuklearnih tragova od rujna 2012. pa sve do danas. Dosad su završena mjerenja u Ličko-senjskoj (L-S), Karlovačkoj (KA), Istarskoj (IS), Požeško-slavonskoj (P-S), Sisačko-moslavačkoj (S-M) i Brodsko-posavskoj (B-S) županiji, dok su u tijeku mjerenja u Vukovarsko-srijemskoj (V-S) i Virovitičko-podravskoj (V-P) županiji. Detektori su izlagani godinu dana u svim odgojnim skupinama u vrtićima, a u školama u odabranim učionicama i radnim prostorima (nastavničke sobe, zbornice i knjižnice, npr.) podjednako raspoređeni po cijelom prostoru (površini i etažama). Ukupno su dosad postavljena 873 detektora u 243 vrtića odnosno 3612 detektora u 723 škole. Prosječna koncentracija radona u vrtićima i školama L-S županije iznosi 318, odnosno 317 Bq m⁻³, u KA županiji 228 i 304 Bq m⁻³, u IS županiji 181 i 208 Bq m⁻³, u P-S županiji 96 i 147 Bq m⁻³, a u S-M županiji 164 i 207 Bq m⁻³. Ove su vrijednosti u vrtićima od 1,0 (P-S) do 1,7 (IS) puta više nego u kućama u tim županijama odnosno u školama od 1,6 (P-S, L-S) do 2,0 (KA, IS) puta više nego u kućama. Razlog za ove više vrijednosti u vrtićima i školama krije

se u prosječnoj starosti javnih ustanova, njihovoj veličini i lošem održavanju. Pritom u 30,0 % vrtića i 50,0 % škola u L-S županiji prosječne vrijednosti radona premašuju preporučenu referentnu koncentraciju za radne prostore od 300 Bq m^{-3} . U ostalim županijama ovi su postotci nešto niži, no još uvijek značajni (KA: 29,4 % vrtića i 25,3 % škola; IS: 15,5 % vrtića i 21,0 % škola; P-S: 0 % vrtića i 17,4 % škola; S-M: 12,9 % vrtića i 19,4 % škola). Identifikacija radonu pogodnih područja samo na temelju koncentracije u kućama, pa i u tlu [6], a ne uzimajući u obzir koncentracije radona u javnim ustanovama (školama i vrtićima) često vodi do podcjenjivanja rizika od radona. Uočeno je da kombinacija ova tri parametra (radon u kućama, radon u javnim objektima, radon u tlu + geogeni radonski potencijal, uz uvažavanje klimatskih karakteristika prostora i koncentracija prirodnih radionuklida (^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th) [7,8]) omogućuje konzistentno definiranje radonu pogodnih područja.

LITERATURA

- [1] Council directive 2013/59/EURATOM of laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Office Journal of the European Union, 5 December 2013; L13: 1-73.
- [2] International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. 37(2-4) 2007.
- [3] World Health Organization (WHO). WHO Handbook on indoor radon: A public health perspective. WHO, Geneva. 2009.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 115. Ann. 40(1) 2010.
- [5] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. 43(3) 2014.
- [6] Radolić V, Miklavčić I, Stanić D, Poje M, Krpan I, Mužević M, Petrincec B, Vuković B. Identification and mapping of radon-prone areas in Croatia - preliminary results for Lika-Senj and the southern part of Karlovac Counties, Radiat Prot Dosim 2014;162:29-33.
- [7] Radolić V, Miklavčić I, Poje M, Stanić D, Mužević M, Krpan I, Vuković B. The radon levels in Istrian peninsula. U: Mazur J, Kozk K, (ur.) Book of Krakow: The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, 2015. 7 (Invited Lecture).
- [8] Radolić V, Miklavčić I, Poje M, Stanić D, Mužević M, Krpan I, Vuković B. Indoor radon and geogenic radon mapping of certain counties with elevated radon values in Croatia. U: Book of Abstracts of International workshop on the European Atlas of Natural Radiation, Verbania, 2015.

RADON CONCENTRATIONS IN SCHOOLS AND KINDERGARTENS IN CROATIA – IMPLICATIONS ON DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NATIONAL RADON ACTION PLAN

*Vanja Radolić, Marina Poje Sovilj, Denis Stanić, Igor Miklavčić and
Branko Vuković*

Department of Physics at Josip Juraj Strossmayer University of Osijek,
Osijek, Croatia
vanja@fizika.unios.hr

In the new European BSS (EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EUROATOM), radon has been treated in just three articles (54, 74, 103) and one Annex (XVIII) but it brings a different perspective on radon issue equalizing maximum radon reference values in homes and workplaces, for example. It is required, that every Member State shall establish a national radon action plan (NRAP). This document will address long-term risks from radon and its short-lived progeny exposure in dwellings, building with public access (such as schools, kindergartens, hospitals, etc.) and workplaces at national level. Furthermore, every Member State has to adopt their legal framework to ensure that appropriate measures for preventing radon ingress into new buildings are undertaken. But the most intriguing thing is the identification of areas where annual average radon concentration in a significant number of buildings is expected to exceed national reference level defined in NRAP. The definition of "significant number of building" is a subject of various interpretations and it is expected that many Member States will approach to this definition in different ways.

In this paper, various approaches to the definition and identification of radon-prone areas based on different parameters (indoor radon in homes and buildings with public access, soil gas radon, geogenic radon potential) and their values (arithmetic or geometric means, median, percentage of objects where selected value exceed reference value, probability that radon concentration in some object is higher than reference value) are discussed. Furthermore, differences between definitions of radon-prone areas based on administrative borders, grid-cells or geological polygons are commented.

KONCENTRACIJE RADONA U SISAČKO-MOSLAVAČKOJ ŽUPANIJI

*Vanja Radolić, Marina Poje Sovilj, Igor Miklavčić, Denis Stanić i
Branko Vuković*

Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek
vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon (^{222}Rn) je plemeniti, radioaktivni plin koji nastaje radioaktivnim raspadom radija (^{226}Ra) uz emisiju alfa čestice. Poznato je da radon i njegovi kratkoživeći potomci daju najveći doprinos efektivnoj dozi koju stanovništvo primi od prirodnih izvora zračenja [1]. Dugotrajna ekspozicija visokim razinama radona povećava rizik nastanka karcinoma pluća. Nedavna epidemiološka istraživanja sumirana u [2] pokazala su da rizik od radona postoji i pri vrijednostima za koje se ranije smatralo da je zanemariv. Tako je povećanje koncentracije radona za 100 Bq m^{-3} povezano s približno 16 %-tnim povećanjem vjerojatnosti incidencije karcinoma pluća [3]. Pritom je rizik od nastanka karcinoma pluća viši za djecu nego za odrasle [2,4]. S obzirom da djeca veći dio vremena osim u kući provedu u vrtiću odnosno školi, mnoge zemlje su provele sustavna mjerenja radona u vrtićima i školama s različitim ciljevima kako na nacionalnoj razini tako i unutar radonski interesantnih područja [5]. U Hrvatskoj je prije 20-tak godina mjeren radon u nekim vrtićima i školama u Osijeku i Zagrebu [6-8]. U ovom su radu prikazani rezultati mjerenja radona u kućama, vrtićima i školama Sisačko-moslavačke (S-M) županije koja su izvedena u sklopu redovnog programa praćenja stanja radionuklida u okolišu RH u koordinaciji s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Prikazani su i rezultati mjerenja radona u tlu i permeabilnosti tla te konstruiranog geogenškog radonskog potencijala (GRP).

MATERIJAL I METODE

Mjerenje koncentracije radona u zraku u kućama, vrtićima i školama izvedeno je pasivnom metodom s odvojivim (engl. *strippable*) detektorima nuklearnih tragova LR115 tip II (proizvođač: Kodak-Pathé, Francuska). Cilindrični plastični nosač detektora, RadonOS-Z (posuda promjera 11 cm i visine 7 cm), prekriven je na vrhu filterom papirnom površinske gustoće 0,078 kg

m⁻². Unutar nosača se nalazi jedan film LR115 tip II, veličine 3×3 cm², koji služi kao difuzni detektor koji bilježi samo tragove alfa čestica emitirane od radona. Nakon izlaganja, detektori su kemijski obrađeni (jetkani) u 10 % vodenoj otopini NaOH na 50 °C u trajanju od 150 minuta, a potom su tragovi brojani pomoću brojača iskri, AIST-2V (proizvođač: V. Khlopin Radium Institute, Sankt Petersburg, Rusija).

Koeficijent osjetljivosti, K , određen je kalibracijom filmova u radonskoj komori PTP BEV (Physikalisch-technischer Prüfdienst pri Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Beč, Austrija) te u bivšoj radonskoj komori Zavoda za fiziku Pedagoškog fakulteta Sveučilišta u Osijeku. Za odvojive LR-115 II filmove iznosi: $K = 65 \pm 23 \text{ Bq m}^{-3} / \text{tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

U S-M županiji detektori su izlagani godinu dana u razdoblju od listopada 2015. do listopada 2016. godine, a najčešće su postavljeni u učionicama i uredima na 2 m visine. Broj i raspodjela detektora u školama je uvelike ovisila o rasporedu učionica (58 % detektora postavljeno u prizemlju), dok su u vrtićima detektori postavljeni u svim odgojnim skupinama.

Koncentracija radona u tlu, c_t , mjerena je na 48 lokacija RM-2 mjernim uređajem s ionizacijskim ćelijama kao detekcijskim sustavom dok je permeabilnost tla, k , mjerena Radon-JOK uređajem (proizvođač: Radon v.o.s., Češka Republika). Geogenski radonski potencijal (GRP) izračunat je prema empirijskoj formuli [9]:

$$GRP = \frac{c_t}{-\log_{10} k - 10}, \quad (1)$$

a klase GRP su dodatno modificirane uvođenjem podklasa kako bi se preciznije opisao potencijalni utjecaj tla na koncentraciju radona u kućama.

Tablica 1. Nova klasifikacija geogenskog radonskog potencijala (GRP).

GRP – "Češki" pristup	Klasa	Opis	GRP – "Hrvatski" pristup	Klasa	Opis
GRP < 10	1	Nizak	GRP < 5	1	Vrlo nizak
			$5 \leq \text{GRP} < 10$	2	Nizak
$10 \leq \text{GRP} < 35$	2	Srednji	$10 \leq \text{GRP} < 22,5$	3	Niži srednji
			$22,5 \leq \text{GRP} < 35$	4	Viši srednji
GRP ≥ 35	3	Visok	$35 \leq \text{GRP} < 60$	5	Visok
			$60 \leq \text{GRP} < 125$	6	Vrlo visok
			GRP ≥ 125	7	Ekstremno visok

REZULTATI

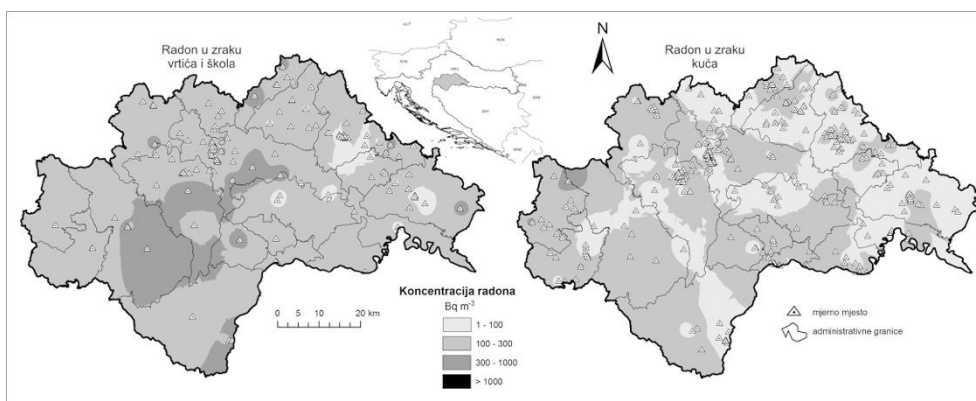
Broj postavljenih detektora u kućama, vrtićima i školama S-M županiji i statistička analiza dobivenih rezultata prikazana je u Tablici 2. U 33 vrtića u S-M županiji postavljena su 143 detektora (4,3 u prosjeku po vrtiću), dok je u 108 škola postavljeno 605 detektora (5,6 detektora po školi).

Prosječna koncentracija radona u kućama S-M županije je 117 Bq m^{-3} , dok u vrtićima i školama iznosi 164 odnosno 207 Bq m^{-3} . Dobivene vrijednosti niže su nego u županijama s dominantno krškom geološkom podlogom (L-S, KA, IS) [10]. Međutim, u 13 % vrtića i 19 % škola, prosječne vrijednosti koncentracije radona premašuju preporučenu referentnu vrijednost za radna mjesta od 300 Bq m^{-3} (što odgovara primljenoj dozi od 6 mSv) iz EU BSS [11] koja se tek treba implementirati u hrvatski pravni okvir. Nadalje, postoje prostorije unutar tri škole (PŠ Maja, OŠ Galdovo, OŠ Popovača) u kojima su koncentracije radona više od 1000 Bq m^{-3} što je vrijednost pri kojoj se u Hrvatskoj preporuča poduzimanje intervencijskih mjera [12].

Tablica 2. Skupni rezultati mjerenja radona u kućama, vrtićima i školama Sisačko-moslavačke županije.

Županija	Sisačko – moslavačka		
	Kuće	Vrtići	Škole
Broj lokacija	266	33	108
Broj postavljenih detektora	266	143	605
Broj prikupljenih detektora	253	125	573
Postotak izgubljenih detektora	4,9 %	12,6 %	5,3 %
AM / Bq m^{-3}	117	164	207
SD / Bq m^{-3}	46	121	176
Medijan / Bq m^{-3}	87	125	152
GM / Bq m^{-3}	95,1	128,0	158,4
GSD	1,8	2,0	2,0
MIN – MAX / Bq m^{-3}	20 - 861	34 - 659	24 - 1062
Postotak kuća, vrtića i škola kojima je prosječna koncentracija radona			
<100 Bq m^{-3}	60,3 %	45,2 %	19,4 %
100 – 300 Bq m^{-3}	36,3 %	41,9 %	61,1 %
300 – 1000 Bq m^{-3}	3,4 %	12,9 %	19,4 %
>1000 Bq m^{-3}	0 %	0 %	0 %

Na Slici 1 prikazan je zemljovid S-M županije s lokacijama mjerenja radona u vrtićima i školama, kao i zemljovid koncentracije radona u kućama. Sivim nijansama obojena su područja predviđene koncentracije radona tehnikom determinističke prostorne interpolacije – inverzne udaljenosti (engl. *Inverse Distance Weighting*). Ova metoda procjenjuje vrijednosti u nekoj točki prema utjecaju svake mjerne lokacije i to obrnuto proporcionalno njezinoj udaljenosti od lokacije.



Slika 1. Prostorna raspodjela koncentracija radona u vrtićima i školama te kućama u Sisačko-moslavačkoj županiji.

Srednja koncentracija radona u tlu s pripadnom standardnom devijacijom na 48 mjerenih lokacija iznosi $61 \pm 28 \text{ kBq m}^{-3}$. Srednji GRP, izračunat jednadžbom (1), iznosi 25 ± 12 , odnosno pretvaranjem u razrede $3,6 \pm 0,9$ (Tablica 1). Ove dobivene vrijednosti klasificiraju tlo S-M županije u tlo srednjeg odnosno višeg srednjeg GRP-a.

Zahvala

Rad je načinjen u okviru DZRNS projekta „Mjerenje radona u kućama, školama i vrtićima Sisačko-moslavačko i Brodsko-posavske županije“ te se autori zahvaljuju DZRNS-u na financijskoj potpori, a Darku Barešiću i Ivani Krpan na tehničkoj pomoći pri organizaciji mjerenja.

LITERATURA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionising Radiation. Volume I: Sources. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with scientific annexes. United Nations, New York. 2000.

- [2] World Health Organization (WHO). WHO Handbook on indoor radon: A public health perspective. WHO, Geneva. 2009.
- [3] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann H-E, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal* 2005; 330: 223-226.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press, ICRP Publication 65. 1994.
- [5] Vaupotič J. Radon in kindergartens in schools: A review, Chapter 22 In: Li Z, Feng C, Eds. *Handbook of Radon: Properties, Applications and Health*, Nova Science Publishers, Inc., New York, 477-523; 2012. ISBN 978-1-62100-177-5.
- [6] Lokobauer N, Senčar J, Franić Z, Bauman A, Erceg J, Gajer-Pjacun Đ. Radon u dječjim vrtićima, školama i pripadajućim skloništima na području Zagreba. U: *Zbornik radova Prvog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja*; 24-26. studeni 1992; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 1992. str. 321-326.
- [7] Planinić J, Kobal I, Vaupotič J. Radon concentrations in kindergartens of Osijek and Ljubljana, *J Radioanal Nucl Chem* 1993; 175: 103-111.
- [8] Planinić J, Šmit G, Šuveljak B, Vuković B, Radolić V. Radon in schools and dwellings of Osijek, *J Radioanal Nucl Chem* 1995; 191: 45-51.
- [9] Neznal M, Neznal M, Matolin M, Barnet I, Miksova J. The new method for assessing the radon risk of building sites. *Czech Geol. Survey Special papers*, 16 (2004), *Czech Geol. Survey*, 47 p.: <http://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf> (last access 25.2.2017).
- [10] Radolić V, Miklavčić I, Stanić D, Poje M, Krpan I, Mužević M, Petrinc B, Vuković B. Identification and mapping of radon-prone areas in Croatia - preliminary results for Lika-Senj and the southern part of Karlovac Counties, *Radiat Prot Dosim* 2014; 162: 29-33.
- [11] Council directive 2013/59/EURATOM of laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Office Journal of the European Union*, 5 December 2013; L13: 1-73.
- [12] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). *Pravilnik o granicama ozračenja*, NN59/13, članak 22., str. 7.

RADON CONCENTRATIONS IN SISAK-MOSLAVINA COUNTY

*Vanja Radolić, Marina Poje Sovilj, Igor Miklavčić, Denis Stanić and
Branko Vuković*

Department of Physics, J. J. Strossmayer University of Osijek, Osijek,
Croatia

vanja@fizika.unios.hr

Measurements of radon concentrations in homes, schools and kindergartens of Sisak-Moslavina (S-M) county were performed by means of passive, strippable, nuclear track etched detectors LR115 type II (Kodak-Pathé, France). Around thousand detectors were exposed for a year in homes (266 detectors), kindergartens (143) and schools (605). In kindergartens, detectors were placed in all playrooms while in schools in selected classrooms, libraries, staff rooms, teacher's rooms, etc. at all levels of building.

The average radon concentrations in houses of S-M county is 117 Bq m^{-3} while in kindergartens and schools are 164 and 207 Bq m^{-3} , respectively. Moreover, in 13 % of kindergartens and 19 % of schools, the average radon concentrations are higher than 300 Bq m^{-3} , which is the highest radon reference level for public buildings with high occupancy. Even more, there are three schools in S-M county (PŠ Maja, OŠ Galdovo, OŠ Popovača) with classrooms where radon concentration exceeds 1000 Bq m^{-3} , which represents the action level for intervention measures in Croatia.

Measurements of radon in soil gas and permeability of soil enables the calculation of geogenic radon potential (GRP). The obtained average value and its standard deviation of GRP of 25 ± 12 at 48 measured locations classifies the S-M county as the area of upper medium class of GRP.

Maps of spatial distribution of indoor radon concentrations for homes as well as for kindergartens and schools were created by using the Inverse Distance Weighting interpolation method. This is one of the useful methods for identifying and defining of radon prone areas.

NEIONIZIRAJUĆA ZRAČENJA

NONIONISING RADIATION

UČINAK RADIOFREKVENCIJSKOG ZRAČENJA NA FREKVENCIJI OD 900 MHz NA ANTIOKSIDATIVNE ENZIME U LIČINKI MEDONOSNE PČELE (*Apis mellifera*)

Perica Tucak¹, Ivana Tlak Gajger², Ivona Žura Žaja², Mirta Tkalec³,
Krešimir Malarić⁴ i Marinko Vilić²

¹Ministarstvo poljoprivrede, Uprava za veterinarstvo i sigurnost hrane, Zagreb

²Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zagreb

³Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

⁴Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
mvilic@vef.hr

UVOD

Iako mehanizam djelovanja radiofrekvencijskog elektromagnetskog zračenja (RF-EMZ) u sisavaca nije u potpunosti jasan, postoje naznake da su biološki učinci potonjeg zračenja djelomično uzrokovani oksidacijskim stresom [1,2] odnosno da su posljedica nastanka reaktivnih kisikovih spojeva koji mogu oštetiti molekulu DNK [3-5]. Dostupni podaci o učincima RF-EMZ na pčele pokazuju da kratkotrajno RF-EMZ može uzrokovati promjene vrijednosti nekih biokemijskih pokazatelja, međutim rezultati su malobrojni i nedovoljno argumentirani. Stoga je cilj ovog rada bio istražiti utjecaj RF-EMZ na antioksidativne enzime u ličinki medonosne pčele (*Apis mellifera*) tijekom jednogodišnjeg izlaganja pčelinjih zajednica zračenju odašiljača baznih postaja mobilne telefonije.

MATERIJAL I METODE

Istraživanje je načinjeno na ličinkama medonosne pčele (*A. mellifera*) u košnicama smještenima na određenu udaljenost od antene stacionarnog odašiljača mobilne telefonije (frekvencija nositelja u pojasu od 900 MHz). Pet pčelinjih zajednica bilo je smješteno na lokaciji u neposrednoj blizini odašiljača gdje je izmjerena jakost električnog polja 1 V/m (lokacija „Odašiljač“), dok je drugih pet bilo smješteno na lokaciji „Humljani“ gdje je izmjerena vrijednost jakosti električnog polja 30 mV/m. Jakost električnog polja u oba slučaja izmjerena je prijenosnim analizatorom spektra marke Narda SRM 3000. Uzorci pčelinjih ličinki uzimani su tri puta: a) dva tjedna

nakon postavljanja košnica (H_1 i O_1); b) pet mjeseci nakon postavljanja košnica (H_2 i O_2) i c) 1 godinu nakon postavljanja košnica (H_3 i O_3). Ličinke ($n = 5-7$ /košnici) u dobi 3 do 5 dana uzimane su anatomskom pincetom u plastičnu epruvetu te pohranjene u tekući dušik na $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po dolasku u laboratorij, te sve do trenutka analize, uzorci su bili pohranjeni na temperaturi $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aktivnost svih antioksidativnih enzima određena je spektrofotometrijski u nadtalozima homogenata ličinki: katalaza (CAT) metodom po Aebiju [6], superoksid dismutaza (SOD) modificiranom metodom po McCord i Fridovichu [7] te glutation S-transferaza (GST) modificiranom metodom po Bocchetti i Regoliju [8]. Aktivnosti svih enzima izražene su po miligramu bjelančevina u tkivu ličinki, a određenih metodom po Bradfordu [9]. Dobiveni rezultati prikazani su kao srednja vrijednost (SV) i pogreška srednje vrijednosti (SE). Značajnost razlika rezultata unutar iste lokacije te između obje lokacije provjerena je analizom varijance, a razlika među skupinama Tukey testom koristeći računalni program STATISTICA 12.

REZULTATI

Rezultati aktivnost enzima GST, CAT i SOD u ličinki medonosne pčele (*A. mellifera*) nakon izlaganja pčelinjih zajednica radiofrekvencijskom zračenju u pojasu od 900 MHz u prirodnom okruženju tijekom godinu dana prikazani su u Tablici 1.

Rezultati pokusa su pokazali da se aktivnost GST, CAT i SOD u ličinki medonosne pčele (*A. mellifera*) tijekom izlaganja pčelinjih zajednica RF-EMZ u pojasu frekvencije od 900 MHz na dvjema lokacijama različitih jakosti električnog polja statistički različito mijenjaju. Tako se aktivnost GST-a i SOD-a nije statistički značajno mijenjala ni u odnosu na vrijeme niti lokaciju uzorkovanja. Aktivnost CAT-a u ličinki izloženih na lokaciji „Humljani“ tj. RF-EMZ manje jakosti električnog polja (30 mV/m) bila je statistički značajno povećana pri trećem uzorkovanju u odnosu na aktivnost CAT-a pri drugom uzorkovanju. Međutim, pri usporedbi rezultata uzorkovanih u isto vrijeme, aktivnost CAT-a bila je značajno veća u ličinki uzorkovanih na lokaciji „Odašiljač“ (jakost električnog polja od 1 V/m) u odnosu na lokaciju „Humljani“ (jakost električnog polja od 30 mV/m). Dosadašnja istraživanja pokazala su da izlaganje organizama, uglavnom sisavaca, RF-EMZ može uzrokovati različite promjene aktivnosti antioksidativnih enzima: značajno povećanje, značajno smanjenje ili pak bez značajne promjene aktivnosti [10-12]. Naši rezultati pokazali su da

dugotrajno izlaganje mlađeg pčelinjeg legla RF-EMZ mobilne telefonije (900 MHz) različitih jakosti polja uzrokuje samo promjenu aktivnosti katalaze. Dobivene rezultate možemo povezati s nekim do danas poznatim činjenicama o aktivnosti i funkciji katalaze u fiziološkim uvjetima. Naime, Farjan i sur. [13] su pokazali da ličinke pčela u dobi 4 do 6 dana imaju veću aktivnost CAT-a i GST-a nego li SOD-a te da značajniji pad aktivnosti katalaze nastupa nakon dobi od 6 dana. Stoga na temelju navedene činjenice i same funkcije katalaze u antioksidacijskoj obrani smatramo da je naš rezultat pokazatelj prisutnog oksidacijskog stresa tijekom izlaganja ličinki pčela RF-EMZ.

Tablica 1. Aktivnost GST, CAT i SOD u ličinki medonosne pčele (*A. mellifera*) tijekom izlaganja pčelinjih zajednica radiofrekvencijskom zračenju frekvencije u pojasu od 900 MHz u prirodnom okruženju na lokaciji „Humljani“ (H) i „Odašiljač“ (O): a) dva tjedna nakon postavljanja košnica (H₁ i O₁); b) pet mjeseci nakon postavljanja košnica (H₂ i O₂) i c) 1 godinu nakon postavljanja košnica (H₃ i O₃). Statistički značajne razlike rezultata označene su različitim slovima (P < 0,05).

Lokacija i vrijeme uzorkovanja	Jakost el. polja	Broj košnica	GST	CAT	SOD
			SV ± SE (U/mg bjelančevina)		
H ₁	30 mV/m	5	0,18 ± 0,01	33,46 ± 1,30 ^{ab}	4,45 ± 0,49
H ₂		4	0,17 ± 0,01	22,57 ± 2,63 ^b	5,46 ± 0,37
H ₃		5	0,18 ± 0,01	36,07 ± 3,17 ^a	5,41 ± 0,58
O ₁	1 V/m	5	0,17 ± 0,01	26,35 ± 1,40 ^{ab}	5,29 ± 0,32
O ₂		5	0,19 ± 0,01	36,10 ± 3,78 ^a	4,64 ± 0,31
O ₃		5	0,21 ± 0,02	34,16 ± 3,39 ^{ab}	3,75 ± 0,39

ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata načinjenog pokusa može se zaključiti da je katalaza jedini enzim koji je pokazao značajne promjene aktivnosti nakon izlaganja ličinki medonosne pčele (*A. mellifera*) RF-EMZ.

LITERATURA

- [1] Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FH. Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxidase and antioxidase activities in human erythrocytes. *J Pharm Biomed Anal* 2001;26:605-608.
- [2] Zmyslony M, Politanski P, Rajkowska E, Szymczak W, Jajte J. Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. *Bioelectromagnetics* 2004;25:324-328.
- [3] Tkalec M, Štambuk A, Šrut M, Malarić K, Klobučar GIV. Oxidative and genotoxic effects of 900 MHz electromagnetic fields in the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicol Environ Saf* 2013;90:7-12.
- [4] Verschaeve L, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, De Seze R, Tenforde T, Rongen E, Veyret B, Xu Z. In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields. *Mutat Res* 2010;705:252-268.
- [5] Vijayalaxmi TJ. Genetic damage in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation: a meta-analysis of data from 63 publications (1990- 2005). *Radiat Res* 2008;69:561-574.
- [6] Aebi, H. Catalase in vitro. *Method Enzymol* 1984;105:121-126.
- [7] McCord, JM, Fridovich I. Superoxide dismutase an enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *J Biol Chem* 1969;244:6049-6055.
- [8] Bocchetti, R, Regoli F. Seasonal variability of oxidative biomarkers, lysosomal parameters, metallothioneins and peroxisomal enzymes in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* from Adriatic Sea. *Chemosphere* 2006;65:913-921.
- [9] Bradford, MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 1976;72:248-254.
- [10] Ozgur E, Kismali G, Güler G, Akcay A, Ozkurt G, Sel T, Seyhan N Effects of prenatal and postnatal exposure to gsm-like radiofrequency on blood chemistry and oxidative stress in infant rabbits, an experimental study. *Cell Biochem Biophys* 2013;67:743-751.
- [11] Akbari A, Jelodar G, Nazifi S. Vitamin C protects rat cerebellum and encephalon from oxidative stress following exposure to radiofrequency wave generated by BTS antenna mobile. *Toxicol Mech Methods* 2014; 24:347-352.
- [12] Shehu A, Mohammed A, Magaji RA, Muhammad MS. Exposure to mobile phone electromagnetic field radiation, ringtone and vibration affects anxiety-like behaviour and oxidative stress biomarkers in albino wistar rats. *Metab Brain Dis* 2016;31:355-362.
- [13] Farjan M, Dmitryjuk M, Lipiński Z, Biernat-Łopieńska E, Żółtowska K. Supplementation of the honey bee diet with vitamin C: The effect on the antioxidative system of *Apis mellifera carnica* brood at different stages. *J Apic Res* 2012;51:263-270.

EFFECTS OF 900 MHz RADIOFREQUENCY RADIATION ON THE ANTIOXIDATIVE ENZYMES IN LARVAE OF HONEYBEE (*Apis mellifera*)

*Perica Tucak*¹, *Ivana Tlak Gajger*², *Ivona Žura Žaja*², *Mirta Tkalec*³,
*Krešimir Malarić*⁴ and *Marinko Vilić*²

¹Ministry of Agriculture Veterinary and Food Safety Directorate, Zagreb,
Croatia

²University of Zagreb, Faculty of Veterinary Medicine, Zagreb, Croatia

³University of Zagreb, Faculty of Science, Zagreb, Croatia

⁴University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing,
Zagreb, Croatia

mvilic@vef.hr

Data on biological effects of the radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) on the antioxidative enzymes of honey bee larvae are very scarce. Therefore, the aim of this study was to determine the activity of enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione-S-transferase (GST) in the younger honeybee brood after exposure to the RF-EMF of 900 MHz. The study was performed on the honeybee larvae (*A. mellifera*) in their natural environment, *i.e.* hives. The experiment was conducted on 5 honeybee colonies located nearby the antenna of mobile phone base station with a higher value of the electric field strength of 1 V/m (HEF), and 5 control colonies on location with lower value of the electric field strength of 30 mV/m (LEF). Samples of honeybee larvae were taken 3 times after initial hives setting: after 2 weeks, 5 months and 1 year. All investigated parameters were determined spectrophotometrically. There *were no significant* differences in activities of SOD and GST within as well as between the locations. On the location with the LEF strength, CAT activity was significantly increased, after 1 year in comparison to 5 months of the exposure. The activity of CAT was significantly increased in honeybee larvae kept in hives on location exposed to the HEF *vs.* the LEF strength after 5 months of the exposure. The obtained results, during the experimental period, showed that the exposure of honeybee larvae to the RF-EMF at a frequency of 900 MHz caused alterations only in the CAT activity during the experimental period.

MJERENJE EM POLJA U OKOLINI TRANSFORMATORSKE STANICE 10(20)/0,4 kV

Mihaela Justić¹, Ivica Prlić¹, Jerko Šiško¹, Marija Surić Mihić¹,
Mladen Hajdinjak² i Hrvoje Mesić³

¹Institut za medicinska istraživanja i medicine rada, Zagreb

²Haj-kom d.o.o., Zagreb

³Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

mjustic@imi.hr

UVOD

Za izvore neionizirajućeg zračenja, poput transformatorskih stanica postoje propisi koji određuju dozvoljenu razinu emitiranih elektromagnetskih polja. U ovome radu prikazan je primjer mjerenja jakosti niskofrekventnih elektromagnetskih polja (engl. *Extremely low frequency* - ELF) koja potječu od redovnog rada dva traformatora 10(20)/0,4 kV koji se nalaze u zasebnoj namjenskoj transformatorskoj stanici (TS Mornarica Aquapark Poreč) na vanjskoj strani tehničkog ulaza u park „Aquacolors Poreč” u Poreču.

Mjerne točke su izabrane za mjerenja metodom Najgoreg mogućeg slučaja (NGS) obzirom na položaj transformatora u prostoru.

Izloženost opće populacije (i profesionalaca) elektromagnetskim (neionizirajućim) poljima u RH je uređena pratećim propisima Zakona o zaštiti od neionizirajućih zračenja (NN 91/10) [1] i Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 149/14) [2].

MATERIJAL I METODE

Prvi dio mjerenja je proveden u prostoru unutar transformatorske stanice i u njezinoj neposrednoj blizini. Drugi dio je izvršen na mjestima u širem okolišu transformatorske stanice na lokacijama: 1. prostor za posjetitelje parka “Aquacolors Poreč” (ugostiteljski stolovi najbliži transformatorskoj stanici); 2. vrt pokraj transformatorskog objekta; 3. parkirna mjesta koja su najbliže transformatorskoj stanici; 4. uredske prostorije u kojima borave djelatnici Aquacolors Poreč parka, a koje su najbliže transformatorskoj stanici; 5. parkirna mjesta koja su najdalje od transformatorske stanice. Jakosti elektromagnetskih polja u prostorijama i okolišu oko transformatora 10(20)/0,4 kV za vrijeme njihova rada mjerene su prijenosnim izotropnim mjerачem jakosti elektromagnetskih polja tipa

PMM 8053, serijskog broja 1420K20908, proizvođača "PMM Construzioni Eletttroniche Centro Misure Radioelettriche" s.r.l.

REZULTATI

Mjerenja su izvršena u prostoru transformatora na visini od 1,5 m te najbliže odgovarajućem transformatoru, a maksimalna izmjerena vrijednost u unutarnjem prostoru iznosi 0,581 A/m, što je u skladu s međunarodnim preporukama [3].

Mjerne točke u blizini transformatorske stanice su izabrane kao najpovoljnije s obzirom na položaj transformatora te njegov smjer zračenja (posebno magnetskog polja), a vezano za prostore u kojima djelatnici i posjetitelji parka borave.

Iz mjernih podataka zaključeno je da su vrijednosti električnog i magnetskog polja vrlo niske te su mjerene vrijednosti ispod graničnih vrijednosti propisanih Zakonom i europskim smjernicama.

U vrijeme mjerenja ELF nije bilo moguće dobiti točne podatke o stvarnom trenutnom radnom opterećenju transformatora pa postoji mogućnost da su vrijednosti jakosti polja mjerene na nekim pozicijama u prostorijama transformatorske stanice i prostorima oko nje (do na udaljenosti 2 m) i do 10 % veće.

ZAKLJUČAK

Provjerom razina elektromagnetskog polja te usporedbom maksimalnih izmjerenih vrijednosti s graničnim razinama propisanim Zakonom te pratećim Pravilnikom, sve izmjerene vrijednosti unutar transformatorske stanice, izmjerene vrijednosti u neposrednom okolišu, kao i izmjerene vrijednosti u širem okolišu parka „Aquacolors Poreč“ zadovoljavaju sve uvjete propisane Pravilnikom. Zaključujemo da zbog rada transformatorske stanice nema i neće biti opasnosti od izlaganja EMF zračenju bilo kojeg člana opće populacije RH koji se može zateći na tom terenu, turista i ostalih posjetitelja tijekom redovnog rada tj. 24-satne izloženosti ELF-polju iz navedenih transformatora [4].

LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od neionizirajućih zračenja (NN RH 91/10)
- [2] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN RH 149/14).
- [3] C95.3.1-2010 - IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 100 kHz
- [4] European Standard ENV 50166-1

MEASUREMENT OF EM FIELD AROUND THE TRANSFORMERS STATION 10(20)/0.4 kV

*Mihaela Justić,¹ Ivica Prlić¹, Jerko Šiško¹, Marija Surić Mihić¹,
Mladen Hajdinjak² and Hrvoje Mesić³*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Haj-kom d.o.o., Zagreb, Croatia

³Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

mjustic@imi.hr

For sources of non-ionizing radiation, such as transformer stations there are regulations defining level of emitted electromagnetic fields. In this paper, an example of measuring the intensity of low-frequency electromagnetic fields (Extremely Low Frequency - ELF) originating from regular work of the 2 transformers that are located in a separate building (TS Mornarica Aquapark Poreč) in the park "Aquacolors Poreč" in Poreč.

Measuring points were selected to achieve worst case scenario due to the position of transformers and their direction of radiation (especially magnetic fields) with respect to the areas where employees and visitors of Aquapark are located.

Comparing the measured values with the maximum limit levels given by current legislation, all measured values in the transformer's object and as well as the measured values in the surroundings of the park "Aquacolors Poreč" meet the requirement of the exposure to electromagnetic radiation sources. In conclusion, the risk from exposure to EMF radiation of any member of the general population such as tourists and other visitors during normal operation, i.e. 24-hour exposure to ELF fields from those transformers is negligible.

POPIS AUTORA

AUTHOR INDEX

Anđelić T.	356	Đurović T.	356
Antović N.	356	Faj D.	121
Avdić M.	321	Franić Z.	88 , 267,
Babić D.	225, 261,	.....	301, 321
.....	267 , 289	Franulović I.	315
Banjanac R.	343	Gajski G.	155
Barešić J.	206, 231	Garaj-Vrhovac V.	155
Barišić D.	249	Gerić M.	155
Bell S.J.	175	Glavič-Cindro D.	175
Benković V.	167	Godec R.	238
Bernat R.	128	Golubovac N.	200
Bešlić I.	225, 238, 244	Gradašćević N.	273 , 278
Bituh T.	88, 289 , 315	Grahek Ž.	249, 255
Bjelica N.	356	Gregov M.	122, 212
Bjelović S.	283	Hajdinjak M.	386
Blahušiak P.	355	Hanžek B.	301
Bogićević M.	356	Holý K.	355
Borković D.	231	Horvat Knežević A.	167
Branica G.	301	Horvatinčić N.	231
Breznik B.	231	Hršak H.	63, 70
Brkić H.	121	Huber Đ.	321
Brodnik D.	175	Ignjić T.	283
Budanec M.	122, 212	Ivković A.	121
Bulko M.	355	Janković M.M.	255
Cardellini F.	175	Joković D.	343
Cikač T.	167	Jovanović P.	349
Ciraj-Bjelac O.	134	Justić M.	386
Coha I.	188	Karanović G.	188
Čačković M.	88, 238	Kasabašić M.	121
Davila S.	225, 244	Kašuba V.	161
De Felice P.	175	Keightley L.	175
Dlabač A.	356	Knapp A.	82
Dolanski Babić S.	33	Knežević Ž.	15, 41, 109
Domazet Jurašin D.	149	Kolar M.	315
Dragić A.	343	Kopjar N.	167
Dulanská S.	249	Kožar Logar J.	327
Đurović A.	356	Krajcar Bronić I.	9 , 206, 231

Kralik I.	15	Novosel N.	53
Krmar M.	295	Obelić B.	231
Krmpotić M.	206	Oreščanin V.	155
Krneta Nikolić J.	362	Osvay M.	221
Kuzmanović P.	295	Pajtler M. 2	12
Levanat I.	82	Pantelić G.	362
Lovrenčić Mikelić I.	231	Pavičić I.	149
Lučić S.	283	Pavić Grego A.	122, 212
Lukanović I.	261	Pehnec G.	225
Malarić K.	381	Petrinec B.	194 , 261,
Maletić D.	343	.....	267, 309, 315
Marković N.	182	Petrović T.	175
Marović G.	140, 238,	Poje Sovilj M.	121, 261,
.....	267, 289, 321	.....	309, 367, 373
Marušić K.	76	Popić Ramač J.	15
Mátel L.	249	Prlić I.	63, 70, 386
Matijević Glavan T.	149	Radolić V.	261, 367 , 373
Medvedec M.	94 , 100	Rafajlović S.	134
Mesić H.	386	Rajačić M.	362
Meštrović T.	88, 122,	Ranogajec-Komor M.	27, 41
.....	194, 261	Razdevšek G.	327
Mihaljević B.	76	Reljić S.	321
Miklavčić I.	261, 367, 373	Roos P.	182
Milić M.	149 , 161, 167	Rozgaj R.	161
Milković Đ.	27	Samek D.	273, 278
Milu C.	47	Santos J.A.M.	115
Miljanić S.	115	Sarap N.B.	255
Mirkov Z.	134	Savić M.	343
Mišak N.	128	Selmani A.	149
Mrčela I.	122 , 140, 212	Senčar J.	140, 225,
Mrdak R.	356	.....	238, 267, 289, 321
Mrđa D.	295	Sironić A.	231
Mujić N.	273, 278	Skoko B.	321
Müllerová M.	355	Stanić D.	261, 367, 373
Neumaier S.	175	Stojković I.	200, 206,
Nielsen S.P.	182	.....	283, 337
Nikolov J.	134, 200, 206 ,	Surić Mihić M.	63 , 70 ,
.....	283, 295, 337	.....	140 , 386
Nodilo M.	249 , 255	Svrkota N.	356

Svrkota R.	356	Udovičić V.	343
Šaponja-Milutinović D.	82	Vencelj M.	175
Šega K.	238, 244	Veselinović N.	343
Širca S.	327	Vilić M.	381
Šiško J.	386	Vinković Vrček I.	149
Šoštaric M.	194, 261,	Vojnić Kortmiš M.	128
.....	267, 309	Volčanšek A.	231
Štrok M.	255	Vraničar A.	283
Tenjović B.	200	Vugrinec O.	140
Tišma I.	309	Vukotić P.	356
Tkalec M.	381	Vuković B.	309, 367, 373
Tlak Gajger I.	381	Vuković S.	337
Todorović D.	362	Woods S.	175
Todorović N.	200 , 206,	Zapletal E.	149
.....	283 , 295 , 337	Zekić R.	356
Todorović S.	295	Zorko B.	327
Tomić M.	206	Živanović M.	362
Tucak P.	381	Žura Žaja I.	381
Tucaković I.	188		



SHARPEN YOUR EDGE
AGAINST CANCER



VARIAN
medical systems

EDGE

© 2013 Varian Medical Systems, Inc. All rights reserved. Varian, the Varian logo, and EDGE are trademarks of Varian Medical Systems, Inc. in the United States and other countries. Other trademarks are the property of their respective owners.

EDGE



Excellence in Routine and Science

LKB Vertriebs GmbH, Podružnica Zagreb
Nova cesta 103
HR-10000 Zagreb, Croatia

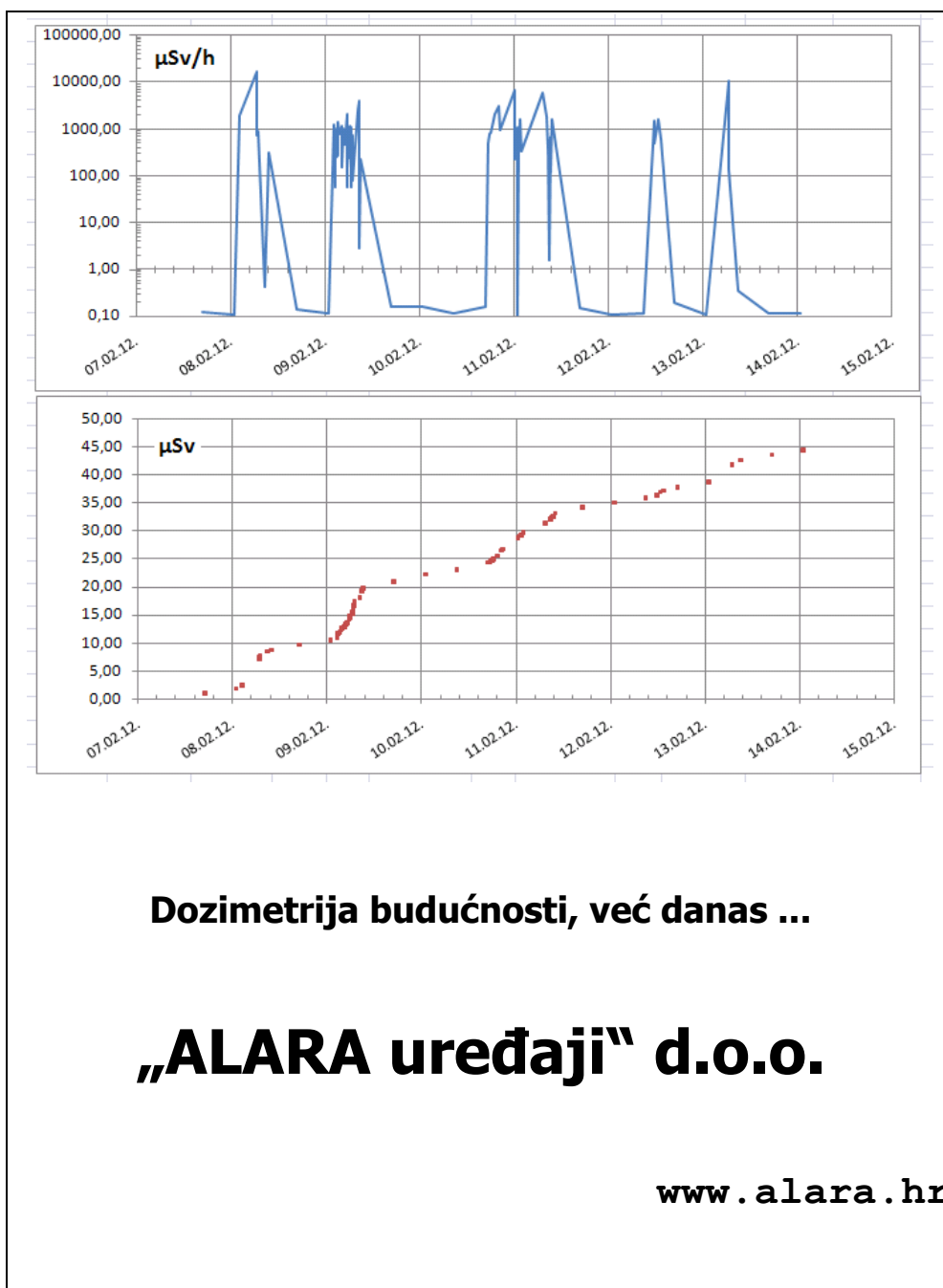
Tel: +385 1 364 6480
Fax: +385 1 364 6477
E-mail lkb.hr@lkb.eu



AMETEK®
ADVANCED MEASUREMENT TECHNOLOGY
ORTEC®

HIDEX







HR EXCELLENCE IN RESEARCH

INSTITUT ZA MEDICINSKA
ISTRAŽIVANJA
I MEDICINU RADA
Zagreb, Ksaverska cesta 2

Znanstvenoistraživački ustrojstveni oblici

- Jedinica za analitičku toksikologiju
i mineralni metabolizam
- Jedinica za biokemiju i organsku analitičku
kemiju
- Jedinica za dozimetriju zračenja i
radiobiologiju
- Jedinica za higijenu okoline
- Jedinica za medicinu rada i okoliša
- Jedinica za molekularnu toksikologiju
- Jedinica za mutagenezu
- Jedinica za toksikologiju
- Jedinica za zaštitu od zračenja



www.imi.hr



Stručni ustrojstveni oblici

- Centar za kontrolu otrovanja
- Jedinica za laboratorijske životinje
- Znanstveno-istraživački poligon "Šumbar"



INSTITUTE FOR MEDICAL
RESEARCH AND
OCCUPATIONAL HEALTH
Ksaverska c. 2, Zagreb, Croatia



Arhiv za higijenu rada i toksikologiju
Archives of Industrial Hygiene and Toxicology

Arh Hig Rada Toksikol; ISSN: 0004-1254; e-ISSN 1848-6312



ZNANSTVENA PODRUČJA

medicina rada i zdravlje – javno zdravstvo – toksikologija – zdravstvena ekologija –
kemija – biokemija – biologija – farmakologija – psihologija

SLUŽBENI ČASOPIS

Hrvatskoga društva za medicinu rada Hrvatskoga liječničkog zbora
Hrvatskoga toksikološkog društva
Slovenskoga toksikološkog društva
Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja
Hrvatskog udruženja za zaštitu zraka

Čimbenik odjeka u 2015.: 0,971; Čimbenik odjeka za 5 godina: 1,120

Indeksiran u: SCI Expanded, Medline/PubMed, Scopus, AGRICOLA, AGRIS, Animal Science Database, Biological Sciences (CSA), BIOSIS, Previews, CAB Abstracts, EBSCO Academic Search Complete, Ergonomic Abstracts, FSTA, Global Health, GreenFile, INIS, Pollution Abstracts, ProQuest, TOXLINE, Veterinary Science Database, Water Resources Abstracts

IZDAVAČ

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Kontakt: arhiv@imi.hr

Rukopisi su u cijelosti dostupni na web-stranicama:

<http://www.degruyter.com/view/j/aiht> i <http://hrcak.srce.hr/aiht>





Osječko-baranjska županija

